Tradução da 2ª Edição

Eletrônica

PARA LEIGOS®

FOR DUMMIES®

Saiba como:

- Trabalhar com resistores, capacitores, diodos e outros componentes, bem como com os circuitos integrados
- Construir e consertar circuitos
- Usar um multímetro, um osciloscópio e uma sonda lógica

Cathleen Shamieh
Gordon McComb

Eletrônica

PARA LEIGOS®

Tradução da 2ª Edição

Por Cathleen Shamieh e Gordon McComb

Rio de Janeiro, 2012

Eletrônica Para Leigos®, Tradução da 2ª Edição Copyright© 2011 da Starlin Alta Con. Com. Ltda.
ISBN 978-85-7608-446-4

Impresso no Brasil.

Produção Editorial: Starlin Alta Con. Com. Ltda.
Gerência de Produção: Maristela Almeida
Supervisão de Produção: Angel Cabeza
Tradução: Fernando Effiori
Roberto Assis Rezende

Revisão Gramatical: Thais Nacif, Carla Ayres
Revisão Técnica: Almir With
Revisão Ortográfica: Damião Nascimento
Diagramação: Mauro da Silva
Fechamento:Gustavo de Oliveira Soares

Shamieh, Cathleen.
S528e Eletrônica para Leigos / Cathleen Shamieh e Gordon McComb;
2.ed. tradutores Fernando Effiori e Roberto Assis Rezende. - 2. ed. - Rio de Janeiro : Alta Books, 2011.
416 p. Tradução de: Electronics for dummies.
ISBN: 978-85-7608-446-4
1. Eletrônica. I. McComb, Gordon, 1957- . II. Título.
621.381 – CDD 22

2ª Reimpressão Revisada, 2011

Rua Viúva Cláudio, 291 - Bairro Industrial do Jacaré
CEP: 20970-031 - Rio de Janeiro – Tel: 21 3278-8069/8419 Fax: 21 3277-1253
www.altabooks.com.br – e-mail: altabooks@altabooks.com.br

Sobre os Autores

Cathleen Shamieh é escritora com formação em engenharia, especializada em criar materiais de comunicação voltados para os benefícios comerciais da tecnologia. Recebeu uma formação de destaque em engenharia elétrica no Manhattan College e no MIT (Massachusetts Institute of Technology), e antes de direcionar sua carreira para comunicações de marketing e consultoria comercial para empresas de tecnologia, ela trabalhou como engenheira nas áreas de eletrônica médica e telecomunicações. Cathleen gosta de se apoiar em sua formação técnica e comercial para criar informativos técnicos e outros materiais direcionados a públicos não tão técnicos.

Gordon McComb já escreveu mais de 60 livros e mais de 1.000 artigos para revistas. Estima-se que um milhão de cópias de seus livros foram impressos, em mais de uma dúzia de idiomas. Durante 13 anos, Gordon escreveu coluna semanal, veiculada a vários jornais, sobre computadores pessoais. Quando não está escrevendo sobre eletrônica por *hobby* e outros assuntos divertidos, ele atua como consultor em cinema digital para clientes notáveis de Hollywood.

Dedicatória

A meus pais, Beth e Jim Corbett, que me ensinaram que posso fazer qualquer coisa a qual eu me dedique; à Irmã Eustelle, que fez de mim uma escritora; ao meu maravilhoso marido, Bill, com quem sempre posso contar para me apoiar; e aos meus quatro fantásticos filhos, Kevin, Peter, Brendan e Patrick, que fazem da minha vida uma aventura divertida e amorosa, todos os dias.

C.S.

Ao meu pai, Wally McComb, que instigou em mim a fascinação pela eletrônica; e a Forrest Mims, que me ensinou uma coisinha ou outra sobre ela.

G.M.

Agradecimentos dos Autores

Cathleen Shamieh estende seus agradecimentos aos excelentes editores da Wiley, especialmente a Katie Feltman e Christopher Morris, por seu trabalho duro, apoio e gentis lembretes; e a Kirk Kleinschmidt, por sua intensa pesquisa sobre material tecnico. Ela também é grata a Linda Hammer e Kea Konoghue, que tiveram a gentileza de recomendar seu trabalho à Wiley. Finalmente, Kathleen agradece à sua família e aos amigos, cujo o apoio, assistência e compreensão ajudaram-na a transformar em realidade a sua meta de tornar-se autora de um livro da série *Para Leigos*.

O autor Gordon gostaria de agradecer à sua família, que, mais uma vez, esperou pacientemente enquanto ele terminava mais um livro.

Sumário Resumido

Introdução 1

Parte I: Entendendo os Fundamentos da Eletrônica 7

Capítulo 1: O Que é Eletrônica e o Que Ela Pode Fazer por Você? 9
Capítulo 2: Manipulando a Eletricidade para Fazer Algo Acontecer.......................21
Capítulo 3: Entendendo a Resistência Elétrica..39
Capítulo 4: Emocionando-se com a Carga dos Capacitores 65
Capítulo 5: Nas Reviravoltas Com Bobinas e Cristais 91
Capítulo 6: O Grande Mundo dos Semicondutores 111
Capítulo 7: Juntando os Componentes em Circuitos Integrados..........................143
Capítulo 8: Arredondando Sua Lista de Componentes 169

Parte II: Sujando as Mãos 191

Capítulo 9: Montando o Laboratório e Garantindo a Segurança 193
Capítulo 10: Lendo Esquemas 219
Capítulo 11: Construindo Circuitos 239
Capítulo 12: Medindo e Analisando Circuitos 259
Capítulo 13: Aprofundando-se com Osciloscópios e Sondas Lógicas 281

Parte III: Pondo a Teoria em Prática 301

Capítulo 14: Explorando Alguns Circuitos de Aprendizado 303
Capítulo 15: Grandes Projetos que Você Pode Construir em 30 Minutos ou até Menos. 327

Parte IV: A Parte dos Dez 351

Capítulo 16: Dez (Mais ou Menos Isso)
Ótimas Dicas para Ajudar Você a Ter Sucesso...353
Capítulo 17: Dez (Mais ou Menos Isso)
Ótimas Fontes de Peças para Eletrônica 363

Apêndice: Recursos na Internet................................... 369

Glossário.. 375

Índice Remissivo.. 387

Sumário

Introdução 1

Por Que Comprar Este Livro?...1
Por Que Eletrônica?...2
Suposições Tolas..3
Segurança em Primeiro Lugar 3
Como Este Livro Está Organizado 4
- Parte I: Entendendo os Fundamentos da Eletrônica 4
- Parte II: Sujando as Mãos 5
- Parte III: Colocando a Teoria em Prática...................................5
- Parte IV: A Parte dos dez..5

Ícones Usados Neste Livro 6

Parte I: Entendendo os Fundamentos da Eletrônica............. 7

Capítulo 1: O que é Eletrônica e o que Ela Pode Fazer por Você?........9

Afinal, O Que É Eletrônica?..10
Conhecendo a Corrente Elétrica..11
- Emocionando-se com os elétrons 11
- Mobilizando elétrons em condutores..12
- Dando um empurrãozinho nos elétrons 13

Canalizando a Energia Elétrica para Gerar Trabalho 14
- Tirando proveito da energia elétrica...15
- Garantindo a chegada dos elétrons ao seu destino...................15

Ah, Quanta Coisa os Elétrons Podem Fazer (Quando Você Coloca Suas Idéias Sobre Eles)!...17
- Criando boas vibrações 18
- Ver para crer 18
- Sentindo e dando alarme 18
- Controlando o movimento..18
- Resolvendo problemas (também conhecido como computação)...........19
- Comunicando-se...19

Capítulo 2: Manipulando a Eletricidade para Fazer Algo Acontecer.......21

Fornecendo Energia Elétrica 22
- Recebendo corrente contínua de uma bateria/pilha..................22
- Usando corrente alternada de uma usina de energia.................24
- Transformando luz em eletricidade 26

Entendendo as Direções: Fluxo Real de Elétrons *Versus* Fluxo de Corrente Convencional 27
Examinando um Simples Circuito de Lâmpada 28
Controlando a Corrente Elétrica Com Componentes Básicos 31
- Formas de se controlar a corrente 31

Componentes ativos *versus* passivos 32
Fazendo Conexões: Série e Paralelo 33
Conexões em série 33
Conexões em paralelo 33
Circuitos em associação mista 34
Criando Sistemas Eletrônicos 35
Fazendo o som aparecer do nada 36
Pintando imagens com elétrons 37

Capítulo 3: Entendendo a Resistência Elétrica 39

Resistindo ao Fluxo da Corrente 40
Resistores: Passivos, Mas Poderosos 41
Para que são usados os resistores? 41
Escolhendo um tipo de resistor: fixo ou variável 43
Interpretando resistores fixos 44
Lidando com potenciômetros 46
Classificando resistores de acordo com a potência 48
Combinando Resistores 49
Resistores em série 50
Resistores em paralelo 51
Combinando resistores em série e paralelos 53
Obedecendo a Lei de Ohm 54
Direcionando uma corrente através de uma resistência 54
É constantemente proporcional! 54
Uma lei, três equações 55
Usando a Lei de Ohm para Analisar Circuitos 56
Calculando a corrente através de um componente 56
Calculando a voltagem através de um componente 58
Calculando uma resistência desconhecida 60
Para Que Serve Realmente a Lei de Ohm? 60
Analisando circuitos complexos 60
Projetando e alterando circuitos 62
O Poder da Lei de Joule 63
Usando a Lei de Joule para escolher componentes 63
Joule e Ohm: perfeitos juntos 64
Pondo a Sua Habilidade à Prova em Circuitos com Resistores 64

Capítulo 4: Emocionando-se com a Carga dos Capacitores 65

Capacitores: Reservatórios de Energia Elétrica 66
Carregando e Descarregando Capacitores 67
Opondo-se às mudanças de voltagem 69
Dando passagem à corrente alternada 69
Para Que São Usados os Capacitores? 70
Caracterizando Capacitores 71
Quanta carga uma placa de capacitor pode armazenar? 72
Ficando de olho na voltagem de trabalho 73
Escolhendo o tipo certo (de dielétrico) para o trabalho 73
Reconhecendo encapsulamentos de capacitores 74
Um olhar positivo sobre a polaridade do capacitor 75

Interpretando os valores dos capacitores 76
Capacitância variável 78
Combinando Capacitores 79
Capacitores em paralelo 79
Capacitores em série 80
Compreendendo a Reatância Capacitiva 81
Usando a Lei de Ohm para reatância capacitiva 82
Trabalhando em Equipe com os Resistores 83
O tempo é tudo 84
Calculando constantes de tempo RC 86
Criando um timer 86
Selecionando Frequências com Filtros RC Simples 87
Filtro passa-baixo 88
Filtro passa-alto 88
Cortando as frequências na inclinação 89
Filtrando faixas de frequência 90
Pondo sua Habilidade à Prova com Circuitos Capacitivos Simples 90

Capítulo 5: Nas Reviravoltas com Bobinas e Cristais 91

Primos Enamorados: Magnetismo e Eletricidade 92
Entrando na linha (de fluxo) com ímãs 92
Produzindo um campo magnético com a eletricidade 93
Induzindo correntes com um ímã 94
Apresentando o Indutor: Uma Bobina com Personalidade Magnética 95
Medindo a indutância 95
Opondo-se às mudanças de corrente 95
Em pé de igualdade com a corrente alternada (ou não!) 97
Compreendendo a Reatância Indutiva 98
Usando a Lei de Ohm para reatância indutiva 99
Comportamentos diferentes de acordo com a frequência(de novo!) 99
Usando Indutores em Circuitos 99
Isolando e blindando indutores 100
Interpretando valores de indutância 100
Combinando indutores blindados 100
Filtrando sinais com indutores 101
Calculando a constante de tempo RL 102
E, com Vocês, a Impedância! 103
Sintonizando Transmissões de Rádio 104
Ressoando com circuitos RLC 104
Garantindo ressonâncias sólidas como pedra com cristais 106
Influenciando a Bobina Vizinha: Transformadores 107
Deixando bobinas sem blindagem interagirem 107
Isolando circuitos de uma fonte de energia 108
Degrau acima e degrau abaixo nas voltagens 108

Capítulo 6: O Grande Mundo dos Semicondutores 111

Estamos Conduzindo ou Não Estamos? 112
Dopando os semicondutores 113
Combinando tipos N e tipos P para criar componentes 114

Formando um Diodo de Junção 116
Aplicando polarização ao diodo 117
Conduzindo corrente através de um diodo 118
Classificando seu diodo 119
Identificando-se com os diodos 119
Qual o lado de cima? 120
Usando Diodos em Circuitos 120
Retificando a AC 121
Regulando a voltagem com diodos Zener 122
Enxergando a luz com os LEDs 123
Outros usos dos diodos 125
Transistores Tremendamente Talentosos 126
Transistores de junção bipolar 126
Transistores de efeito de campo 127
Operando um Transistor 128
Como Realmente Funcionam os Transistores 129
Emitindo e coletando elétrons 129
Ganhando corrente 132
Saturando o transistor 132
Usando um Modelo para Entender os Transistores 133
Amplificando sinais com um Transistor 135
Polarizando o transistor para que ele aja como amplificador 136
Controlando o ganho de tensão 136
Configurando circuitos de transistor como amplificadores 137
Ligando e Desligando Sinais com um Transistor 137
Escolhendo Transistores 138
Dados importantes de um transmissor 138
Identificando transistores 139
Reconhecendo um transistor quando você o vê 140
Fazendo Todos os Tipos de Componentes Possíveis 141
Pondo a Sua Habilidade à Prova com Circuitos de Semicondutores 141

Capítulo 7: Juntando os Componentes em Circuitos Integrados 143

Por Que CIs? 144
Pastilha Analógica, Digital ou Mista? 145
Tomando Decisões com Lógica 145
Começando com os bits 147
Processando dados com portas 148
Simplificando as portas com tabelas-verdade 150
Criando componentes lógicos 151
Entendendo Como Usar CIs 152
Identificando CIs com números de componentes 152
A embalagem é tudo 153
Verificando pinagens de CI 154
Baseando-se em folhas de dados de CIs 156
Na Companhia de Alguns CIs Populares 157
Amplificadores operacionais 157
A máquina do tempo em forma de CI: o timer 555 159
Contando com o contador de década 4017 165

Microcontroladores e outros CIs populares 166
Expandindo Seus Horizontes de CI....166

Capítulo 8: Arredondando Sua Lista de Componentes....169

Fazendo Conexões 169
Escolhendo os fios sabiamente....170
Ligando-se aos conectores....172
Energizando 173
Fazendo correr os fluídos com as baterias....173
Obtendo energia do sol 177
Trabalhando com a energia da tomada (não recomendável) 177
Ligando e Desligando a Eletricidade 179
Controlando a ação de um interruptor 179
Fazendo os contatos certos....180
Usando Seus Sensores....181
Vendo a luz 182
Capturando som com microfones....183
Sentindo o calor 183
Mais transdutores de entrada energéticos 185
Experimentando o Resultado da Eletrônica....186
Falando de alto-falantes 186
Ressoando com campainhas 188
Criando boas vibrações com motores DC 189

Parte II: Sujando as Mãos 191

Capítulo 9: Montando o Laboratório e Garantindo a Segurança 193

Escolhendo um Lugar para Praticar Eletrônica....194
Os ingredientes principais para um grande laboratório....194
O básico sobre bancadas de trabalho....195
Adquirindo Ferramentas e Suprimentos 195
Estocando material de solda 196
Usando um multímetro....198
Juntando ferramentas de mão....199
Juntando panos e limpadores 200
Carregando lubrificantes....202
Estocando coisas que grudam 203
Outras ferramentas e suprimentos....204
Estocando Partes e Componentes....205
Matriz de Contatos (Protoboards)....205
Kit inicial de construção de circuitos....207
Juntando os extras....208
Organizando todas as suas partes....209
Protegendo Você e Sua Eletrônica....209
Entendendo que eletricidade pode realmente ferir....210
Soldando em segurança 214
Evitando estática como se fosse praga 215

Capítulo 10: Lendo Esquemas 219

O Que É um Esquema e Por Que Eu Deveria Me Importar? 219
Tendo Uma Visão Geral 220
O que importa são as conexões 221
Observando um simples circuito com bateria 221
Reconhecendo os Símbolos de Potência 223
Mostrando onde está a potência 224
Marcando o terra 226
Rotulando Componentes de Circuito 228
Componentes eletrônicos analógicos 228
Componentes CI e de lógica digital 231
Componentes diversos 233
Sabendo Onde Tomar as Medidas 235
Explorando um Esquema 236
Estilos de Desenho de Circuitos Alternativos 238

Capítulo 11: Construindo Circuitos 239

Dando uma Olhada nas Protoboards sem Solda 240
Explorando uma protoboard sem solda, por dentro e por fora 240
Vendo o tamanho das variedades de protoboards sem solda 241
Construindo Circuitos com Protoboards sem Solda 243
Preparando suas partes e ferramentas 243
Poupando tempo com fios pré-descascados 243
O layout do seu circuito 244
Evitando circuitos danificados 246
Soldando 101 247
Preparando-se para soldar 248
Soldando para o sucesso 249
Inspecionando a junta 250
Removendo a solda, se necessário 251
Esfriando após a soldagem 251
Praticando a solda em segurança 252
Estabelecendo um Compromisso: Criando um Circuito Permanente 252
Movendo seu circuito para uma protoboard com solda 253
Prototipando com placas perfuradas 254
Enrolando seus fios 255
Fazendo uma placa de circuitos personalizada 257

Capítulo 12: Medindo e Analisando Circuitos 259

Múltiplas Tarefas com um Multímetro 260
É um voltímetro! 260
É um amperímetro! 261
Uau! É um ohmímetro também! 262
Explorando Multímetros 263
Escolhendo um estilo: analógico ou digital 263
Dando uma olhada mais atenta em um multímetro digital 264
Acertando a faixa 266
Configurando Seu Multímetro 267

Operando Seu Multímetro 268
Medindo voltagem 269
Medindo corrente 270
Medindo resistência 272
Fazendo outros testes com o multímetro 278
Utilizando um Multímetro para Verificar Seus Circuitos 279

Capítulo 13: Aprofundando-se com Osciloscópios e Sondas Lógicas 281

Sondando as Profundezas da Lógica...281
Investigando Sinais com um Osciloscópio 285
Observando os altos e baixos da voltagem..285
Entendendo a resolução e a largura de banda do osciloscópio 288
Sabendo Quando Utilizar um Osciloscópio...289
Fazendo Seu Osciloscópio Funcionar 290
Configuração básica e testes iniciais...290
Exibindo e medindo sinais 293
Testando, 1-2-3, Testando! 295
Sua bateria tem alguma carga?..295
Dissecando seu rádio para exibir um forma de onda de áudio 296
Testando a frequência de um circuito AC 297

Parte III: Pondo a Teoria em Prática 301

Capítulo 14: Explorando Alguns Circuitos de Aprendizado 303

Preparando-se para Explorar 303
Ver É Acreditar: A Lei de Ohm Realmente Funciona! 305
Analisando um circuito em série 306
Dividindo a voltagem..309
Resistores estacionados em paralelo 311
Carregando e Descarregando Capacitores 313
Vendo suas cargas subirem e descerem 313
Variando a constante de tempo RC..315
Queda de Tensão em Diodos..317
Ligando um LED 317
Cortando voltagens...319
Ganhando Experiência com Transistores..321
Amplificando corrente..321
O interruptor está ligado 322
Utilizando Sua Lógica 323
Vendo a luz no fim da porta NAND 324
Transformando três portas NAND em uma porta OR 325

Capítulo 15: Grandes Projetos que Você Pode Construir em 30 Minutos ou Menos. 327

Obtendo o Que Você Precisa, Logo de Saída..328
Criando Luzes Bacanas, Loucas e Piscantes 328
Dando uma olhada mais de perto no piscador 555 329
Construindo o circuito da luz piscante 330

Verificando seu trabalho 333
Fazendo um Pequeno Som com Piezoeletricidade..334
Piezo – o quê? 334
Lançando luz na piezoeletricidade 334
Preparando uma linha de bateria 336
Enxergando no Escuro com um detector de Infravermelho 336
Detectando partes para o detector de infravermelho 336
Procurando por fontes de infravermelho 337
Assustando os Caras Maus com uma Sirene 338
Buscando a lista de partes da sirene 555...339
Como a sirene funciona..340
Perca-se... ou Encontre-se, com a Bússola Eletrônica..................................340
Verificando as partes para a sua bússola eletrônica..............................341
Dando uma olhada na bússola 342
Onde Houver Luz, Você Ouve Este Som...343
Montando a lista de partes do alarme de luz 343
Fazendo seu alarme trabalhar para você...344
Pequeno Amplificador, Grande Som..345
Fazendo a chamada da lista de partes para o pequeno amplificador...345
Por dentro e por fora do pequeno amplificador 346
Construindo um Testador de Água...346
Juntando as partes do testador de água...347
Como o testador de água funciona 347
Criando um Gerador de Efeitos Luminosos Muito Bom 348
Caçando as partes para seu gerador 349
Controlando as luzes 349
Posicionando os LEDs 349

Parte IV: A Parte dos Dez 351

Capítulo 16: Dez (Mais ou Menos Isso) Ótimas Dicas para Ajudar Você a Ter Sucesso ..353

Testando Suas Mãos em Kits de Eletrônica Pré-prontos 354
Usando uma Fonte de Energia com Personalidade Variável 354
Contando os Megahertz 355
Gerando Todos os Tipos de Sinais 356
Fazendo a Varredura para Cima e para Baixo Nas Frequências 357
Botando um Pulso Aqui, Botando um Pulso Ali..357
Analisando Sua Lógica 359
Simulando a Operação do Circuito...359
Onde Achar Bons Negócios em Ferramentas de Teste 360

Capítulo 17: Dez (Mais ou Menos Isso) Ótimas Fontes de Peças para Eletrônica...363

Brasil...363
Milcomp...363
Soldafria...364
TMG..364
SimãoEletrônica...364
Blucolor..364

América do Norte....364
All Electronics....365
Allied Electronics....365
BG Micro....365
Digi-Key....365
Electronic Goldmine....366
Jameco Electronics....366
Mouser Electronics....366
Parts Express....366
RadioShack....367
Fora da América do Norte....367
Dick Smith Electronics (Austrália)....367
Farnell (Inglaterra)....367
Maplin (Inglaterra)....367
O Que É Conformidade RoHS?....367
Novo Ou Excedente?....368

Apêndice: Recursos na Internet....369
Ganhando Velocidade com Tutoriais e Informações Gerais....369
Entendendo as Coisas com Calculadoras....370
Surfando Atrás de Circuitos....371
Discutindo Sobre Eletrônica nos Fóruns de Discussão....372
Comprando Coisas para Fazer Suas Próprias Placas de Circuito Integrado....373
Conseguindo Coisas em Excedentes....373

Glossário....375

Índice....387

Introdução

Você está curioso para saber o que faz o seu *iPod* funcionar? E quanto ao seu celular, *laptop*, aparelho de som, sua câmera digital, sua TV de plasma de 46 polegadas – praticamente todas as outras coisas eletrônicas que você usa para se entreter e enriquecer sua vida?

Se já se perguntou como funcionam transistores, capacitores e outras peças fundamentais da eletrônica, ou se já se sentiu tentado a construir seus próprios dispositivos eletrônicos, você veio ao lugar certo!

Eletrônica Para Leigos, 2ª edição, é a sua entrada no eletrizante mundo da eletrônica moderna. Isto aqui não é um daqueles livrões chatos e incompreensíveis; o que você tem em mãos é *o* livro que lhe permite entender, criar e consertar seus próprios dispositivos eletrônicos.

Por Que Comprar Este Livro?

É muito frequente a eletrônica parecer um mistério, pois envolve o controle de algo que você não consegue ver – a corrente elétrica –, sobre a qual você já foi avisado repetidas vezes para não tocar. Isso é o bastante para espantar a maioria das pessoas. Mas, como você continua a experimentar os benefícios diários da eletrônica, talvez comece a se perguntar como é possível fazer tantas coisas incríveis acontecerem em tantos pequeninos espaços.

Este livro foi criado para explicar a eletrônica de forma que você consiga se relacionar com ela. Ele fornece um entendimento básico do que é exatamente a eletrônica, oferece explicações práticas sobre como os principais componentes eletrônicos funcionam e fornece o que você precisa para construir e testar circuitos e projetos eletrônicos. Embora este livro não pretenda responder todas as suas perguntas sobre a eletrônica, ele lhe dá um bom embasamento sobre o que é essencial.

Nossa esperança é que, ao terminar, você perceba que a eletrônica não é tão complicada como pode ter pensado um dia. E é nosso intento equipá-lo com o conhecimento e a confiança que precisa para avançar no emocionante campo da eletrônica.

Por Que Eletrônica?

A eletrônica está em todo lugar. Você encontra a eletrônica nos seus aparelhos de comunicação, nos sistemas de entretenimento e nos eletrodomésticos da cozinha. Sistemas eletrônicos controlam os semáforos, o comércio na *internet*, os aparelhos médicos – até mesmo muitos brinquedos. Tente, por um minuto, imaginar sua vida sem a eletrônica – seria o mesmo que viver na Idade das Trevas!

Então, qual o valor de tudo isso para você ao folhear este livro? Afinal, você não espera ser capaz de criar sistemas de comunicação por satélite depois de uma sessão de leitura deste humilde livro *Para Leigos*. Embora esta afirmação seja verdadeira, também é certo dizer que até os mais complicados sistemas eletrônicos consistem em nada mais do que um punhado de diferentes tipos de componentes eletrônicos governados pelo mesmo conjunto de regras que determina a funcionalidade dos circuitos simples. Assim, se você quer obter um entendimento dos sistemas eletrônicos complexos, começará com o básico – tal como os projetistas desses sistemas fizeram quando começaram.

O mais importante é dizer que entender o básico de eletrônica permite a você criar alguns dispositivos eletrônicos realmente úteis, embora simples. Você pode construir circuitos que acendam luzes no momento certo, soem uma campainha ao ver um intruso, ou até movam um objeto pela sala. E, quando souber usar *chips* de circuito integrado (CI), que são povoados de circuitos miniaturizados fáceis de usar e totalmente funcionais, você pode criar dispositivos intrincados que impressionarão seus amigos e inimigos – por apenas alguns reais bem gastos.

Com o desenvolvimento da tecnologia – rápido como um relâmpago, e menor e mais barato a cada ano – você já pode segurar os ingredientes de sistemas eletrônicos avançados na palma da mão. Com um pouco de conhecimento e alguma disposição de experimentar, você pode construir algo que controle a iluminação na sua casa toda, um robô que passe o aspirador na sua sala, ou um sistema de alarme que detecte alguém tentando abrir a sua geladeira.

Você pode ter um outro *hobby* que seja enriquecido pelo seu conhecimento de eletrônica. Se você curte ferromodelismo, por exemplo, pode usar seu conhecimento de eletrônica para construir desvios automáticos de trilhos. Se o seu *hobby* são carrinhos radiocontrolados, um *know-how* em eletrônica pode permitir que melhore o desempenho do seu carro e vença o seu melhor amigo na próxima corrida.

Por último, mas não menos importante, eletrônica é divertido. Experimentar e obter conhecimento sobre a eletrônica, já é a própria recompensa.

Suposições Tolas

Este livro pressupõe que você seja curioso a respeito de eletrônicos, mas não saiba muito, se é que sabe alguma coisa sobre seus funcionamentos internos. Uma vez que você tenha escolhido este livro em vez de um livro contendo exclusivamente receitas de circuitos eletrônicos, podemos pressupor que você queira saber mais sobre o funcionamento de componentes como resistores, capacitores e transistores, por isso, dedicamos tempo (e mais da metade deste livro) para explicar isto, destilando informações bastante técnicas em conceitos fáceis de entender. Você não precisa ser versado em física ou matemática para se beneficiar da leitura deste livro, embora um pouquinho de álgebra do ensino médio seja útil (mas fizemos o nosso melhor para refrescar essas lembranças possivelmente dolorosas).

Pressupomos que você talvez queira pular algumas partes do livro, mergulhando fundo em um ou outro tópico de maior interesse pessoal, fazendo, possivelmente, uma leitura 'por alto' dos outros tópicos. Por este motivo, fornecemos um bocado de referências entre os capítulos, para que possa preencher quaisquer lacunas ou refrescar sua memória sobre um determinado tópico. E, embora a primeira metade deste livro seja dedicada a como os circuitos e os componentes individuais eletrônicos funcionam, incluímos referências a projetos e circuitos para aprendizado que aparecem mais adiante no livro. Assim, logo que você entender um componente, pode pular adiante se quiser, e construir um circuito que utilize esse componente.

O sumário no começo deste livro fornece um excelente recurso que você pode usar para localizar rapidamente o que estiver procurando. Também achará útil o glossário quando ficar em dúvida sobre um termo específico e precisar rever sua definição. Por fim, o pessoal da editora forneceu, atenciosamente, um índice ao final do livro para ajudar a focar sua leitura em páginas específicas.

Segurança em Primeiro Lugar

Ler sobre eletrônica é seguro. Provavelmente, a pior coisa que pode acontecer é seu olho se cansar de tantas noites lendo, até tarde, estas páginas. *Construir* projetos de eletrônica já é outro assunto. Por trás da diversão do seu *hobby* de eletrônica estão altas voltagens que podem eletrocutar você, ferros de solda que podem queimá-lo, e pequenos pedaços de fio que podem voar em seus olhos quando você os cortar com alicates. Ui!

Segurança é *primordial* em eletrônica. Na verdade é tão importante, na verdade, que dedicamos uma grande parte do Capítulo 9 a ela – e fazemos referências contínuas para trazê-lo de volta a esta parte.

Se você é novato em eletrônica, por favor, certifique-se de ler esta parte. Não a pule, mesmo que você se ache a pessoa mais segura do mundo. Mesmo que tenha alguma experiência em eletrônica, vale a pena refrescar sua memória sobre segurança. Quando você segue as precauções adequadas, a eletrônica é um *hobby* extremamente saudável e seguro. Certifique-se de mantê-la assim!

Embora tentemos dar recomendações valiosas sobre segurança o tempo todo, não podemos lhe dar, em um livro, todas as precauções de segurança possíveis. Além de ler nossas recomendações, use seu próprio bom-senso, leia as instruções dos fabricantes para os componentes e as ferramentas com os quais você for trabalhar, e esteja sempre alerta.

Como Este Livro Está Organizado

Eletrônica Para Leigos® foi escrito de forma que você possa rapidamente encontrar, ler e entender as informações que quiser. O livro também está organizado de modo que, caso tenha alguma experiência em eletrônica, ou queira aprofundar seus conhecimentos em um tópico específico, você possa pular uma parte ou outra e focar-se nos capítulos que lhe interessarem.

Os capítulos deste livro estão divididos em partes para ajudá-lo a chegar, de modo fácil e rápido, às informações que procura.

Parte I: Entendendo os Fundamentos da Eletrônica

Vá para a Parte I se quiser obter fundamentos detalhados da teoria básica da eletrônica. O Capítulo 1 oferece um panorama do que é, exatamente, a eletrônica, e das coisas incríveis que ela pode fazer. Você descobre os fundamentos dos circuitos eletrônicos, passa a conhecer a voltagem, a corrente e as fontes de energia elétrica no Capítulo 2. Do Capítulo 3 ao 6, você mergulha fundo no coração de todos os principais componentes eletrônicos, incluindo resistores, capacitores, indutores, transformadores, diodos e transistores. Descobre como cada componente funciona, como ele lida com a corrente elétrica, e qual o papel que desempenha nos circuitos eletrônicos. O Capítulo 7 apresenta os circuitos integrados (CIs) e explica um pouco sobre a lógica digital e como três populares CIs funcionam. O Capítulo 8 abrange os sensores, alto-falantes, campainhas, interruptores, fios e conectores. Em toda a Parte I indicamos circuitos introdutórios que você poderá construir na Parte III para observar o funcionamento de cada componente.

Parte II: Sujando as Mãos

A Parte II concentra-se nos equipamentos, na construção de circuitos reais e na medição dos circuitos que funcionam (ou não) – evitando, ao mesmo tempo, ser eletrocutado. No Capítulo 9,você descobre como preparar uma bancada de trabalho, com componentes, ferramentas e outros materiais eletrônicos de que precisa para construir circuitos, e como proteger a si e a seus componentes eletrônicos enquanto trabalha nos circuitos. O Capítulo 10 explica como interpretar diagramas de circuitos (conhecidos como *esquemas*) para saber como conectar componentes quando constrói um circuito. Você explora vários métodos de ligação de fios em circuitos temporários e permanentes no Capítulo 11, que instrui também sobre as formas de soldagem. Finalmente, os Capítulos 12 e 13 explicam como usar três das mais importantes ferramentas de teste em eletrônica – o multímetro, a sonda lógica e o osciloscópio – para explorar e analisar o comportamento dos circuitos.

Parte III: Colocando a Teoria em Prática

Se você está ansioso para fabricar alguns circuitos e soltar a sua veia eletrônica, a Parte III é o lugar certo. O Capítulo 14 mostra alguns circuitos elementares que você pode construir para aplicar os princípios da eletrônica e observar componentes eletrônicos específicos funcionando conforme anunciado. Abra neste Capítulo se você quiser reforçar seu conhecimento teórico de eletrônica ou ganhar experiência na construção de circuitos simples. Quando estiver pronto para circuitos mais complexos, explore o Capítulo 15. Lá, você encontra vários projetos para se divertir construindo e explorando. Você pode até decidir aproveitar um ou outro, na sua casa ou no trabalho.

Parte IV: A Parte dos Dez

Como era de se esperar, a Parte IV é onde você pode encontrar informações adicionais relacionadas com a informática, dispostas em listas do tipo 'Top 10'. O Capítulo 16 oferece referências para ajudá-lo a expandir seus horizontes em eletrônica. Lá, você pode encontrar informações de *kits* de projetos com tudo incluído, *software* de simulação de circuitos, sugestões para ferramentas de testes adicionais e dicas de como encontrar bons negócios em materiais eletrônicos. Quando estiver pronto para ir às compras de materiais eletrônicos, abra o Capítulo 17 e veja uma lista de revendedores de boa qualidade nos Estados Unidos e em outros países.

Ícones Usados Neste Livro

Já que não podemos colocar dúzias de *post-its* em cada exemplar de *Eletrônica Para Leigos*®, usamos ícones gráficos no intuito de chamar sua atenção para informações críticas que se destacam de uma forma ou de outra.

As dicas alertam você para informações que podem realmente lhe poupar tempo, dores de cabeça ou dinheiro (ou todos os três!). Você descobrirá que, se usar nossas dicas, sua experiência com a eletrônica será muito mais agradável.

Quando você mexe com eletrônica, com certeza encontrará situações que requeiram extremo cuidado. É aqui que entra o ícone de Aviso, um lembrete não tão gentil, para se tomar precauções adicionais e, dessa forma, evitar ferimentos pessoais ou prevenir danos aos seus componentes, ferramentas e circuitos – ou ao seu bolso.

Este ícone o lembra sobre o que você deve manter sempre em mente, as ideias e os fatos importantes ao explorar o fascinante mundo da eletrônica. Ocasionalmente, usamos este ícone onde, no livro, um importante conceito é originalmente introduzido para que você possa voltar àquela página para informações mais detalhadas, como um refresco para a memória, caso precise de um.

Mesmo que este livro inteiro seja sobre coisas técnicas, sinalizamos certos tópicos para alertá-lo sobre informações técnicas mais profundas que podem requerer um pouco mais de trabalho cerebral para digerir. É claro que, se você decidir pular estas informações, tudo bem – ainda pode seguir adiante. Pense nessas informações como um material extra – um desvio do caminho principal, se preferir – como questões valendo pontos extras em uma prova de matemática.

Parte I

Entendendo os Fundamentos da Eletrônica

A 5ª Onda — Por Rich Tennant

"Então, acho que você se esqueceu de me falar para tirar os componentes antes de abrir os buracos de ventilação."

Nesta parte...

Você tem um desejo ardente de entender o que faz com que os aparelhos eletrônicos funcionem? Já sentiu curiosidade em saber como um alto-falante fala, motores giram, e computadores computam? Bem, então você veio ao lugar certo!

Nos capítulos seguintes, explicamos o que é exatamente a eletrônica, o que ela pode fazer (e faz) por você, e como todos os tipos de aparelhos eletrônicos funcionam. Não se preocupe, não aborreceremos você com longos ensaios envolvendo física e matemática – mesmo achando que poderíamos. Usamos analogias e exemplos bem práticos envolvendo água, bolinhas de gude e sobremesas, para que fique mais fácil – e divertido – entender. E, enquanto você se diverte, ganha um conhecimento bastante profundo de como os componentes eletrônicos funcionam e combinam forças para fazer coisas incríveis acontecerem.

Capítulo 1

O Que é Eletrônica e o Que Ela Pode Fazer por Você?

Neste Capítulo:

- Enxergando a corrente elétrica como ela realmente é
- Reconhecendo o poder dos elétrons
- Usando condutores para seguir o fluxo (dos elétrons)
- Fazendo as conexões certas com um circuito
- Controlando o destino de elétrons com componentes eletrônicos
- Aplicando a energia elétrica em um monte de coisas

Se você é como a maioria das pessoas provavelmente já tem alguma ideia do que é eletrônica. Já teve um contato próximo e pessoal com muitos dos chamados "eletrônicos de consumo", tais como *iPods*, aparelhos de som, computadores pessoais, câmeras digitais e televisores; mas, para você, eles talvez pareçam caixas misteriosamente mágicas com botões que respondem a todos os seus desejos.

Você sabe que, por baixo de cada exterior elegante, jaz um fantástico conjunto de componentes minúsculos conectados entre si, da forma exata para fazer com que algo aconteça. E agora você quer entender como.

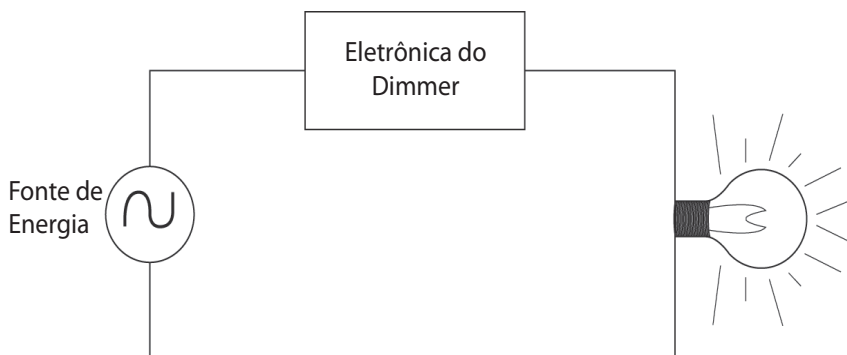
Neste capítulo, você descobrirá que os elétrons, movendo-se em harmonia, constituem a corrente elétrica – e que controlar a corrente elétrica é a base da eletrônica. Poderá dar uma olhada no que é, realmente, a corrente elétrica, e o que é necessário para mantê-la fluindo. Terá também um panorama das coisas que se pode fazer com a eletrônica.

Afinal, o Que É Eletrônica?

Quando você liga a luz em sua casa, está conectando uma fonte de energia elétrica (normalmente fornecida pela sua companhia de energia local) à uma lâmpada em um caminho completo, conhecido como *circuito elétrico*. Se adicionar um dimmer ou timer ao circuito da lâmpada, poderá *controlar* a operação da lâmpada de forma mais interessante do que simplesmente ligando-a e desligando-a.

Os sistemas elétricos, como os circuitos da sua casa, usam corrente elétrica pura e não adulterada para alimentar coisas como lâmpadas. Os *sistemas eletrônicos* levam isso um passo mais adiante: eles *controlam* a corrente, modificando suas flutuações, direção e tempo, de várias formas, para realizar uma série de funções, desde diminuir o brilho da lâmpada até comunicar-se com satélites (e muitas outras coisas). (Veja a Figura 1-1.) É este controle que distingue os sistemas eletrônicos dos sistemas elétricos.

Para entender como a eletrônica envolve o controle da corrente elétrica, primeiro você precisa ter uma boa noção do que é realmente a corrente elétrica, e de como ela faz funcionar coisas como as lâmpadas elétricas.

Figura 1-1: A eletrônica do dimmer neste circuito controla o fluxo da corrente elétrica para a lâmpada.

O Que é eletricidade?

A simples verdade a respeito da eletricidade é que ela não é tão simples. O termo "eletricidade" é ambíguo, frequentemente contraditório, e pode levar a grandes confusões, mesmo entre cientistas e professores. Genericamente falando, "eletricidade" tem a ver com a forma como certos tipos de partículas encontradas na natureza que interagem quando estão 'andando juntas', agrupadas em uma mesma área.

Em vez de falar em eletricidade, é bem melhor usar outra terminologia, mais precisa, para descrever tudo o que é elétrico. Veja algumas delas:

- **Carga elétrica:** Uma propriedade fundamental (isso significa: não a questione) de certas partículas que descreve como elas interagem. Há dois tipos: positiva e negativa. Partículas do mesmo tipo (positivas ou negativas) repelem-se, enquanto partículas de tipos opostos atraem-se.
- **Energia elétrica:** Uma forma de energia causada pelo comportamento de partículas eletricamente carregadas. É isso que você paga à sua companhia elétrica para lhe fornecer.
- **Corrente elétrica:** O fluxo de partículas eletricamente carregadas. Esta é, provavelmente, a conotação de eletricidade mais familiar a você, e aquela em que nos concentraremos neste capítulo.

Então, quando estiver só batendo papo com colegas no bebedouro, não tem problema usar a palavra eletricidade para descrever o que faz seu videogame funcionar, mas se você lançar essa palavra sem cuidado entre aqueles que entendem de física, pode acabar espantando-os.

Conhecendo a Corrente Elétrica

Corrente elétrica, às vezes conhecida como eletricidade (veja o quadro : “O que é eletricidade?”), é o fluxo de partículas eletricamente carregadas, bem pequenininhas, chamadas *elétrons*. Então, onde exatamente você encontra os elétrons, e como eles se movem por aí? As respostas, você irá descobrir dando uma espiada dentro do átomo.

Emocionando-se com os elétrons

Átomos são os tijolos básicos de tudo no universo, sejam eles naturais ou feitos pelo homem. Eles são tão pequenos, que você poderia encontrar milhões deles em um grão de poeira. Imagine, então, quantos não existem, por exemplo, em um lutador de sumô. Os elétrons podem ser encontrados em todos os átomos do universo, morando fora do centro do átomo, ou *núcleo*. Todos os elétrons carregam uma carga elétrica negativa e são ligados a outras partículas minúsculas chamadas *prótons*, que carregam uma carga positiva e ficam dentro do núcleo.

Carga elétrica é a propriedade de certas partículas, como os elétrons, prótons e quarks (sim, quarks), que descreve como é a interação entre eles. Há dois tipos diferentes de carga elétrica, chamados arbitrariamente de “positivo” e “negativo” (tudo bem, você também poderia chamá-los “Moe” e “Larry,” ou “norte” e “sul,” mas esses nomes já têm dono). Em geral, partículas que carregam o mesmo tipo de carga repelem-se, enquanto partículas que carregam cargas diferentes atraem-se. É por isso que os elétrons acham os prótons tão atraentes, e vice-versa.

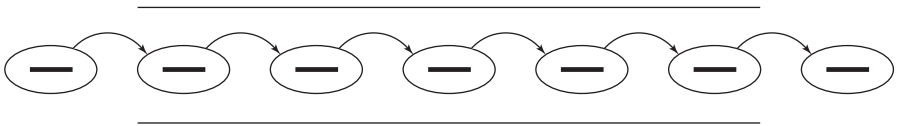
Em circunstâncias normais, há um número igual de prótons e elétrons em cada átomo, e o átomo é dito como sendo *eletricamente neutro*. A força atrativa entre os prótons e elétrons age como uma cola invisível, unindo as partículas atômicas, quase como a força gravitacional da terra que mantém a Lua sempre próxima. Os elétrons mais próximos do núcleo são segurados no átomo com uma força maior do que os elétrons mais distantes do núcleo; alguns átomos se agarram com unhas e dentes aos elétrons mais externos, enquanto outros são um pouco mais relaxados.

Mobilizando elétrons em condutores

Materiais (como o ar ou o plástico) que mantêm seus elétrons 'junto de casa' são chamados *isolantes*. Materiais como o cobre, o alumínio e outros metais, que contêm elétrons ligados de forma mais solta, são chamados *condutores*.

Em metais, os elétrons exteriores ligam-se de forma tão solta que muitos deles se libertam e saem a circular entre os átomos do metal. Esses elétrons "livres" são como ovelhas pastando em uma colina: eles vagam a esmo, mas não vão muito longe em nenhuma direção específica. Mas, se você der a estes elétrons livres um empurrãozinho em uma direção, eles se moverão alegremente na direção do empurrão. *Corrente elétrica* (muitas vezes chamada de eletricidade) é o movimento *em massa* dos elétrons por um condutor, quando uma força externa (ou empurrão) é aplicada.

Este fluxo de corrente elétrica parece acontecer instantaneamente. Isso porque cada elétron livre – de uma ponta de um condutor à outra – começa a se mover mais ou menos imediatamente.

Figura 1-2: O fluxo de elétrons em um condutor é análogo a uma corrente humana passando baldes para apagar um incêndio.

Pense em uma corrente humana passando baldes d'água para apagar um incêndio: você tem uma fila, cada pessoa segurando um balde com uma pessoa em uma ponta enchendo um balde com água, e uma pessoa na outra

jogando o balde já cheio. A um comando, cada pessoa passa seu balde ao vizinho da esquerda, e recebe um outro do vizinho da direita. Embora cada balde percorra uma distância curta (de uma pessoa para outra), é, em aparência, como se somente um balde fosse transportado de uma ponta da fila até a outra. Da mesma forma acontece com a corrente elétrica. Cada elétron desloca o outro à sua frente no caminho condutor, dando a impressão de que os elétrons estão se movendo quase instantaneamente de uma ponta do condutor até a outra. (Veja a Figura 1-2.)

A corrente elétrica é um reino de coisas minúsculas que, às vezes, interagem em quantidades imensas, por isso, ela precisa ter sua própria unidade de medida. Um *coulomb*, por exemplo, é definido como a carga que comporta $6{,}24 \times 10^{18}$ (ou seja, 624 seguido por 16 zeros) elétrons. Se um coulomb de carga move-se passando por um ponto em um segundo, dizemos que a força da corrente elétrica é *um ampere* (abreviado como 1A). É um bocado de elétrons de uma só vez, muito mais do que normalmente se encontra em sistemas eletrônicos. Ali, é mais provável que você veja a corrente medida em *miliamperes* (mA). Um miliampere é um milésimo de um ampere.

Dando um empurrãozinho nos elétrons

A corrente elétrica é o fluxo de elétrons negativamente carregados por um condutor quando uma força é aplicada. Mas o que é a força que faz com que os elétrons se movam em harmonia? O que comanda a corrente de baldes eletrônica?

A força que empurra os elétrons adiante é conhecida como *voltagem*, e é medida em unidades chamadas *volts* (abreviado como V). Aplique voltagem suficiente a um condutor, e os elétrons livres dentro dele mover-se-ão juntos na mesma direção, como ovelhas sendo conduzidas para um curral – só que muito mais depressa.

Pense na voltagem como pressão elétrica. De um jeito parecido ao da pressão da água sendo impulsionada pelos canos e válvulas, a voltagem empurra os elétrons pelos condutores. Quanto maior a pressão, maior o impulso – por isso, quanto maior a voltagem, mais forte será a corrente elétrica que flui por um condutor.

Você também pode ouvir os termos *diferença de potencial*, *potencial de voltagem*, *queda de potencial*, ou *queda de voltagem,* usados para descrever voltagem. Procure não deixar que esses termos diferentes o confundam. Acompanhe mais sobre esses termos no Capítulo 2.

Experimentando a eletricidade

Você pode experimentar pessoalmente o fluxo de elétrons arrastando os pés em um tapete, em um dia seco, e tocando a maçaneta da porta: aquele 'zap' que você sente (e a fagulha que talvez você veja) é resultado de partículas eletricamente carregadas saltando da ponta de seus dedos para a maçaneta, uma forma de eletricidade conhecida como *eletricidade estática*. A eletricidade estática é o acúmulo de partículas eletricamente carregadas que permanecem estáticas (sem movimento) até serem atraídas para um grupo de partículas opostamente carregadas.

O relâmpago é outro exemplo de eletricidade estática (mas que você não gostaria de experimentar pessoalmente), com partículas carregadas viajando de uma nuvem à outra, ou de uma nuvem até o chão. Quando as partículas carregadas se movem, elas liberam energia (daí os raios e fagulhas).

Se você conseguir fazer uma quantidade suficiente de partículas carregadas se moverem, e puder canalizar a energia que elas liberam, poderá usar essa energia para acender lâmpadas e fazer funcionar outras coisas.

Canalizando a Energia Elétrica para Gerar Trabalho

Benjamin Franklin foi uma das primeiras pessoas a observar e fazer experiências com a eletricidade. Criou muitos dos termos e conceitos (por exemplo, *corrente*) que hoje conhecemos e amamos. Ao contrário da crença popular, Franklin *não segurou* a chave na ponta da linha de sua pipa, naquela tempestade em 1752. Se tivesse feito isso, não teria vivido para participar da independência dos EUA. Ele pode ter realizado essa experiência, mas não segurando a chave.

Franklin sabia que a eletricidade era perigosa e poderosa, e seu trabalho fez as pessoas se perguntarem se havia uma forma de usar a força da eletricidade em aplicações práticas. Cientistas como Michael Faraday, Thomas Edison e outros levaram o trabalho de Franklin um pouco adiante e descobriram formas de canalizar a energia elétrica e aproveitá-la.

Antes de começar a se empolgar em canalizar a energia elétrica, repare no aspecto assustador do ícone de Aviso à esquerda, e lembre-se que, há mais de 250 anos, Benjamin Franklin sabia o suficiente para ser cuidadoso perto das forças elétricas da natureza. E você também deve ser. Mesmo quantidades bem pequenas de corrente elétrica podem ser bem perigosas – e até fatais – nas circunstâncias certas (ou erradas). No Capítulo 9, explicaremos mais sobre os danos que a corrente elétrica pode causar e as precauções que você pode (e deve) tomar para se manter seguro ao trabalhar com a eletrônica. Mas, por enquanto, considere isto um aviso!

Nesta seção, iremos explorar a forma como os elétrons transportam a energia – e como essa energia pode ser aplicada para fazer as coisas funcionarem.

Tirando proveito da energia elétrica

Quando os elétrons viajam por um condutor, eles transportam energia de uma ponta do condutor à outra. Uma vez que as cargas semelhantes se repelem, cada elétron exerce uma força repulsiva sem contato no elétron próximo a ele, empurrando esse elétron adiante no condutor. Como resultado, a energia elétrica se propaga pelo condutor.

Se você puder transportar essa energia a um objeto que permita em si a realização de algum trabalho, como uma lâmpada, um motor ou um alto-falante, poderá aproveitar essa energia. A energia elétrica carregada pelos elétrons é absorvida pelo objeto e transformada em outro tipo de energia, tais como energia mecânica, calor ou luz. É assim que você faz o filamento da lâmpada brilhar, o eixo do motor girar e o diafragma do alto-falante vibrar.

Já que você não pode ver – e nem quer necessariamente tocar – massas de elétrons fluindo, tente pensar na água para ajudar a entender a canalização da energia elétrica. Uma gota de água não é de grande ajuda (ou grande perigo) a ninguém, mas ponha todo um grupo de gotas d'água para trabalhar ao mesmo tempo, capte-as com um funil conduzindo-as por uma mangueira, direcione o fluxo da água a um objeto (uma roda d'água, por exemplo), e você poderá aproveitar a energia resultante da água. Assim como milhões de gotas d'água movendo-se na mesma direção constituem uma corrente, milhões de elétrons movendo-se na mesma direção constituem uma corrente elétrica. Na verdade, Benjamin Franklin veio com a ideia de que a eletricidade age como um fluido e tem propriedades similares, como corrente e pressão (mas ele provavelmente alertaria você para não bebê-la).

Mas e a energia original – aquilo que faz com que os elétrons comecem a se mover em primeiro lugar – de onde ela vem? Ela vem de uma fonte de energia elétrica, como uma bateria (discutiremos fontes de energia elétrica no Capítulo 2).

Garantindo a chegada dos elétrons ao seu destino

A corrente elétrica não flui em qualquer lugar. (Se fluísse, você tomaria choques o tempo todo). Os elétrons só fluem se você fornecer um caminho com o condutor fechado, ou *circuito*, para que eles se movam, e inicie o fluxo com uma bateria ou outra fonte de energia elétrica. O cobre e outros condutores são comumente transformados em fios para fornecer um caminho para o fluxo de elétrons livres, para que você possa direcionar a energia elétrica para uma lâmpada ou outro objeto que a utilizará. Assim como os canos e a água, quanto mais largo o fio, mais livremente os elétrons fluem.

Elétrons trabalhadores fornecem potência

Para os elétrons que fornecem energia a uma lâmpada ou outro dispositivo, a palavra "trabalho" tem um sentido físico real. *Trabalho* é uma medida da energia consumida pelo dispositivo, durante algum tempo em que uma força (voltagem) é aplicada a um conjunto de elétrons no dispositivo. Quanto mais elétrons você empurrar, e quanto mais forte, mais energia elétrica estará disponível, e mais trabalho poderá ser feito (por exemplo, maior o brilho da luz, ou mais rápida a rotação do motor). A energia total consumida na realização do trabalho por algum período de tempo é conhecida como *potência* e é medida em *watts*. A potência é calculada multiplicando-se a força (voltagem) pela força do fluxo de elétrons (corrente):

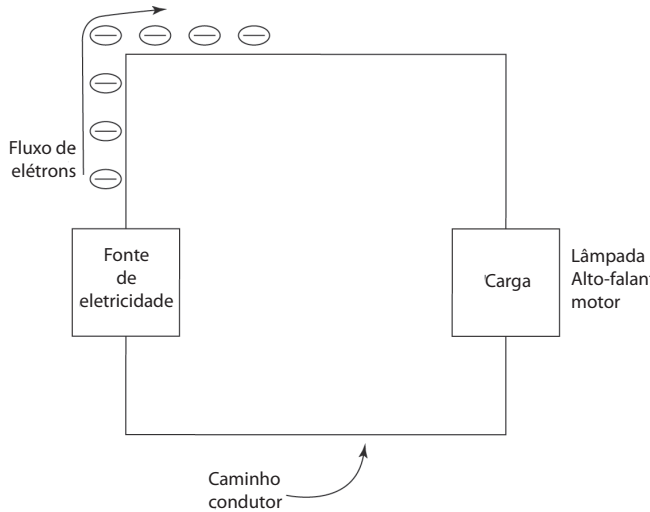
Potência = voltagem × corrente

Cálculos de potência são muito importantes na eletrônica, porque ajudam a entender com quanta energia os componentes eletrônicos estão dispostos a (ou são capazes de) lidar sem se queixar. Se você energizar elétrons demais no mesmo componente eletrônico, irá gerar um bocado de energia de calor, e poderá fritar este componente. Muitos componentes eletrônicos vêm com níveis máximos de potência para que você possa evitar uma situação de superaquecimento. Relembraremos isto nos capítulos posteriores, quando discutirmos componentes específicos e seus níveis de potência.

Se houver uma interrupção no caminho (um *circuito aberto*), os elétrons pararão de fluir – e os átomos de metal do fio se acomodarão calmamente em uma existência pacífica e eletricamente neutra. Imagine um galão de água fluindo por um cano. A água vai fluir por um tempo curto, mas vai parar quando toda a água sair do cano. Se você bombear água por um sistema fechado de canos, a água continuará a fluir enquanto você continuar forçando-a a se mover. Para manter os elétrons fluindo, você precisa conectar tudo em um grande e feliz *circuito elétrico*. Como mostra a Figura 1-3, todos os circuitos precisam de, no mínimo, três coisas básicas para assegurar que os elétrons sejam energizados e transmitam sua energia a algo onde há trabalho a ser feito:

- **Uma *fonte* de energia elétrica:** A fonte fornece a energia que empurra os elétrons pelo circuito. Você também pode ouvir os termos *fonte elétrica*, *fonte de força*, *fonte de voltagem* e *fonte de energia,* usados para descrever uma fonte de energia elétrica. Vamos discutir fontes de energia no Capítulo 2.
- **Uma *carga***: A carga é algo que absorve a energia elétrica em um circuito (por exemplo, uma lâmpada ou um alto-falante). Pense na carga como o destino da energia elétrica.
- **Um *caminho***: Um caminho condutor fornece o canal para os elétrons fluírem entre a fonte e a carga.

Uma corrente elétrica começa com um "empurrão" da fonte e flui pelo caminho até a carga, onde a energia elétrica faz algo acontecer – emitir luz, por exemplo.

Figura 1-3: Um circuito consiste em uma fonte de energia, uma carga e um caminho para a corrente elétrica:

Ah, Quanta Coisa os Elétrons Podem Fazer (Quando Você Coloca Suas Ideias Sobre Eles)!

Imagine aplicar uma corrente elétrica a um par de alto-falantes sem usar nada para controlar ou "modelar" a corrente. O que você ouviria? Com certeza não seria música! Usando a combinação adequada de elementos eletrônicos montados de forma correta, você pode controlar a maneira como cada diafragma dos alto-falantes vibra, produzindo os sons reconhecíveis como fala ou música (bem, certas músicas, pelo menos). Há tantas outras coisas que você pode fazer com a corrente elétrica, desde que você saiba como controlar o fluxo de elétrons.

O fundamental na eletrônica é o uso de dispositivos especializados, conhecidos como *componentes eletrônicos*, por exemplo: resistores, capacitores, indutores e transistores, que iremos discutir nos Capítulos 3, 4, 5 e 6, respectivamente, para controlar a corrente (também conhecida como fluxo de elétrons) de tal forma que uma função específica seja desempenhada.

Aparelhos eletrônicos simples usam alguns componentes para controlar o fluxo da corrente. O botão do *dimmer* que controla a corrente que flui para a lâmpada é um exemplo. Mas a maioria dos sistemas eletrônicos são muito mais complicados do que isso; eles conectam um bocado de componentes individuais em um ou mais circuitos para alcançar sua meta final. O bom é que, uma vez que você entenda como alguns componentes individuais funcionam e como aplicar alguns princípios básicos, você começará a entender e construir circuitos eletrônicos interessantes.

Esta seção fornece apenas uma amostra dos tipos de coisas que você pode fazer, controlando os elétrons com circuitos eletrônicos.

Criando boas vibrações

Os componentes eletrônicos do *iPod*, do som do carro e de outros sistemas de áudio convertem a energia elétrica em energia sonora. Em cada caso, os alto-falantes do sistema são a carga, ou destino da energia elétrica, e o trabalho dos componentes eletrônicos dentro do sistema é "modelar" a corrente que flui para os alto-falantes, de modo que o diafragma de cada alto-falante se mova para reproduzir o som original.

Ver para crer

Nos sistemas visuais, os componentes eletrônicos controlam o tempo e a intensidade das emissões de luz. Muitos dispositivos de controle remoto, como aquele da sua poltrona reclinável automática, emitem luz infravermelha quando você aperta um botão, e o padrão específico da luz emitida age como um tipo de código para o aparelho que você está controlando, mandando-o fazer o que ele faz.

A superfície interior do tubo de uma TV com tubo de raios catódicos – CRT, *cathode-ray tube* – (ainda existe alguma?) é revestida de uma camada de fósforo que brilha quando atingida por feixes de elétrons dentro do tubo. Os circuitos eletrônicos do televisor controlam a direção e a intensidade dos feixes de elétrons, controlando, assim, o padrão pintado na tela da TV – que é a imagem que você vê. Ilustrativo, não?

Sentindo e dando alarme

A eletrônica também pode ser usada para fazer algo acontecer em resposta a um nível específico de luz, calor, som ou movimento. *Sensores* eletrônicos geram ou modificam uma corrente elétrica em resposta a um estímulo. Microfones, detectores de movimento, sensores de temperatura e sensores de luz podem ser usados para ativar outros componentes eletrônicos para que estes realizem alguma ação, como ativar um abridor automático de portas ou soar um alarme.

Controlando o movimento

Um uso comum da eletrônica é controlar o ligar/desligar e a velocidade de motores. Fixando vários objetos – por exemplo, rodas, flaps de aviões ou cunhados inúteis – em motores, você pode usar a eletrônica para controlar seus movimentos. Essa eletrônica pode ser encontrada em sistemas robóticos, na aviação, em veículos espaciais, elevadores e muitos outros lugares.

Resolvendo problemas (também conhecido como computação)

Praticamente da mesma forma que os antigos (aqueles que viveram há muito tempo, não os seus bisavós) usavam o ábaco para realizar operações de aritmética, você usa calculadoras e computadores para realizar computações. Com o ábaco, usavam-se pedras para representar os números, e os cálculos eram feitos manipulando-se essas pedras. Nos sistemas de computação, padrões de energia elétrica armazenada são usados para representar os números, as letras e outras informações, e as computações são feitas manipulando-se esses padrões, usando componentes eletrônicos. (É claro que os elétrons/abelhas-operárias não têm ideia de que estão trabalhando com números!) Se você tiver um anel decodificador à mão, poderá traduzir o padrão resultante em números (ou deixar que a eletrônica do monitor faça isso por você).

Comunicando-se

Os circuitos eletrônicos do seu celular trabalham juntos para converter o som da sua voz em um padrão elétrico, manipular o padrão (para comprimi-lo e codificá-lo para transmissão), convertê-lo em um sinal de rádio e enviá-lo pelo ar a uma torre de comunicação. Outros circuitos eletrônicos no seu aparelho detectam mensagens que chegam da torre, decodificam as mensagens e convertem um padrão elétrico dentro delas, até formar o som da voz do seu amigo (pelo fone).

Sistemas de comunicação de dados, que você usa todos os dias para comprar online, usam a eletrônica para converter seus desejos materialistas em pedidos de compra – e (geralmente) extrair dinheiro da sua conta bancária.

Capítulo 2

Manipulando a Eletricidade para Fazer Algo Acontecer

Neste Capítulo:

- Mobilizando elétrons
- Encontrando uma fonte de força elétrica
- Sendo positivo quanto à direção da corrente
- Lançando luz sobre um circuito em ação
- Assumindo controle do fluxo de elétrons
- Enviando correntes de uma forma ou de outra

A eletrônica é o controle do fluxo dos elétrons (corrente elétrica) pelos condutores de um caminho completo (circuito) para que a eletricidade transportada para uma carga (como uma lâmpada, um motor ou um alto-falante) seja "modelada" da forma exata. Manipulando o fluxo de elétrons, os componentes eletrônicos permitem que você faça algumas coisas incríveis com a eletricidade, como variar o som produzido pelos alto-falantes, modificar a direção e a velocidade de motores, e controlar a intensidade e o tempo de luzes, entre muitas outras coisas. Em outras palavras, a eletrônica não faz a eletricidade – ela a torna melhor.

Neste capítulo, você descobre como colocar os elétrons para fluir por um circuito, e por que uma corrente convencional pode ser pensada como elétrons movendo-se em marcharré. Você também explora as profundezas de um circuito eletrônico simples, e vê formas diferentes de conectar componentes eletrônicos, para poder começar a modelar e direcionar a corrente da forma como achar melhor nos seus próprios circuitos. Finalmente, você compreende como dois aparelhos eletrônicos familiares – seu rádio e sua TV – manipulam a corrente elétrica para tornar a sua vida mais divertida.

Fornecendo Energia Elétrica

Se você pegar um fio de cobre e formar um círculo com ele, unindo as pontas e torcendo-as os elétrons livres fluirão? Bem, os elétrons podem dançar um pouco, porque são muito fáceis de se mover, mas, a menos que haja uma força puxando-os em um sentido ou em outro, você não conseguirá fazer uma corrente fluir.

Pense no movimento da água que está parada em um cano fechado: a água pode balançar um pouco, mas não ficará correndo pelo cano, sozinha. Você precisa introduzir uma força, um diferencial de pressão, para fornecer a energia necessária e fazer a corrente fluir pelo cano.

Um circuito elétrico precisa de uma *fonte de eletricidade* (realmente, energia elétrica) para fazer os elétrons fluírem. Baterias e células solares são fontes comuns; a energia elétrica disponível nas tomadas da sua parede pode vir de uma dentre muitas fontes diferentes fornecidas pela sua empresa de energia. Mas o que é exatamente uma fonte de eletricidade? Como você "invoca" a energia elétrica?

Todas as fontes de eletricidade funcionam convertendo outra forma de energia (por exemplo, mecânica, química, térmica, luminosa) em energia elétrica. A forma como a energia elétrica é gerada pela sua fonte preferida acaba sendo importante, pois diferentes fontes produzem diferentes tipos de corrente elétrica. Há dois tipos, diferentes, que são:

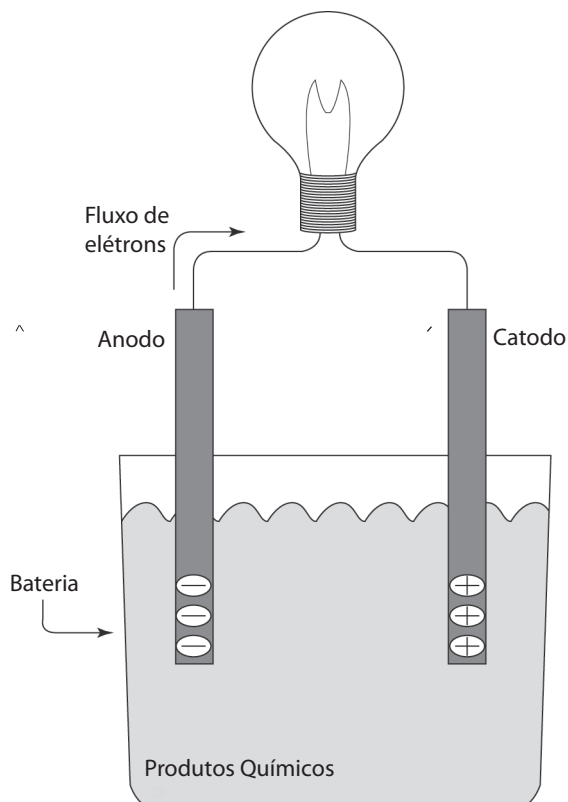
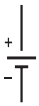
- **Corrente contínua (DC)**: Um fluxo estável de elétrons em uma direção, com muito pouca variação na força da corrente. Células (comumente conhecidas como baterias/pilha) produzem DC, e a maioria dos circuitos eletrônicos usa DC.
- **Corrente alternada (AC)**: Um flutuante fluxo de elétrons, que muda de direção periodicamente. As empresas de energia fornecem AC para as suas tomadas.

Recebendo corrente contínua de uma bateria/pilha

Uma bateria/pilha converte energia química em energia elétrica por um processo chamado *reação eletroquímica*. Quando dois metais diferentes são imersos em um determinado tipo de produto químico, os átomos do metal reagem com os átomos do produto químico para produzir partículas carregadas. Cargas negativas se acumulam em uma das placas de metal, enquanto cargas positivas se acumulam na outra placa de metal. A diferença de carga entre os dois terminais de metal (um *terminal* é só um pedaço de metal ao qual você pode enganchar fios) cria uma voltagem. Essa voltagem é a força que os elétrons precisam para empurrá-los pelo circuito.

Para usar uma bateria em um circuito, você conecta um lado da sua carga – por exemplo, uma lâmpada – ao terminal negativo (conhecido como *ânodo*) e o outro lado da sua carga ao terminal positivo (conhecido como *cátodo*). Você criou um caminho que permite que as cargas se movam e os elétrons fluam do ânodo, pelo circuito, para o cátodo. Ao passarem pelo filamento da lâmpada, parte da energia fornecida pela bateria é convertida em calor, fazendo o filamento acender.

Uma vez que os elétrons sejam movidos apenas em uma só direção (do ânodo, pelo circuito, para o cátodo), a corrente elétrica gerada pela "corrente contínua" bateria/pilha será DC (Ver Figura 2.1.) Uma bateria continua a gerar corrente até que toda a química dentro dela tenha sido usada e esgotada no processo eletroquímico. As pilhas de tamanho AAA, AA, C e D, que você pode comprar em quase todos os lugares, geram cerca de 1,5 volts cada – não importando o tamanho. A diferença de tamanho entre essas pilhas tem a ver com a quantidade de corrente que pode ser extraída delas. Quanto maior a pilha, mais corrente pode ser extraída e mais tempo ela vai durar.Baterias/pilhas maiores aguentam cargas mais pesadas, que é apenas uma forma de dizer que elas produzem mais potência (lembre-se, potência = voltagem x corrente), por isso, podem fazer mais trabalhos.

Figura 2-1: Corrente contínua (DC) em uma bateria/pilha: uma reação química produz elétrons que fluem em uma só direção, do ânodo, pelo circuito, para o cátodo.

Tecnicamente falando, uma “bateria/pilha” individual não é realmente uma bateria (isto é, um grupo de unidades funcionando juntas); é uma *célula* (uma dessas unidades). Se você conectar várias células, como normalmente faz em muitas lanternas e brinquedos de crianças, *então* criará uma bateria. A bateria do seu carro é feita de seis células, cada uma gerando 1,5 volts, conectadas para produzir no total 12 volts. No Capítulo 8, discutiremos os tipos de células e como conectá-las. Para criar voltagens mais altas.

Este é o símbolo comumente usado para representar uma bateria em um diagrama de circuito. O sinal de + (positivo) significa o cátodo; o sinal de – (negativo) significa o ânodo. Geralmente, a voltagem da bateria/pilha é mostrada ao lado do símbolo.

Usando corrente alternada de uma usina de energia

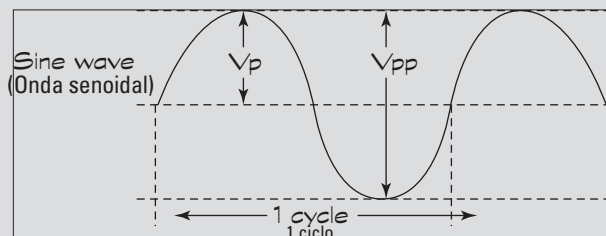
Quando você conecta uma luminária a uma tomada elétrica em casa está usando energia elétrica originária de uma usina geradora. Usinas elétricas processam recursos naturais – como água, carvão, petróleo, gás natural ou urânio – em várias fases para produzir energia elétrica. É por isso que se diz que a energia elétrica é uma fonte de energia *secundária*: ela é originada pela conversão de uma fonte de energia primária.

Muitas usinas utilizam a energia de calor gerada por reações nucleares ou pela queima de combustíveis fósseis para transformar a água em vapor. Depois, o vapor exerce pressão nas pás de uma turbina, fazendo-a girar. Usinas de energia hidroelétrica localizadas em barragens usam a pressão da água, e os moinhos de vento usam a energia do vento para girar as turbinas. As turbinas das usinas de energia são conectadas a geradores eletromecânicos, que convertem a energia mecânica (neste caso, o movimento da turbina) em energia elétrica. Um gerador contém uma bobina de fio dentro de um enorme ímã permanente. Quando a turbina gira, a bobina de fio também gira, e – pronto! – a corrente elétrica é *induzida* no fio. Isto é apenas um jeito técnico de dizer que algo está fazendo os elétrons fluírem, sem nenhum contato direto com o fio.

O fluxo de elétrons pode ser induzido com o movimento de um fio perto de um ímã, ou com o movimento de um ímã perto de um fio. Isto se chama *indução eletromagnética*, e tem a ver com as relações íntimas entre o magnetismo e a eletricidade. Mencionaremos isso novamente no Capítulo 5, quando discutiremos indutores.

À medida que a bobina gira dentro do ímã, este faz os elétrons fluírem em uma direção, mas quando a bobina gira 180°, o ímã puxa os elétrons na outra direção. Pode-se dizer que, a cada 180°, os elétrons dão um ‘cavalo de pau’ e mudam de direção! Essa rotação cria uma *corrente alternada* (AC).

Entrando na onda (senoidal)

A corrente alternada está constantemente mudando, portanto, você não pode descrever sua força com um só número, como pode fazer com a DC. Uma forma comum de discutir suas variações é olhar uma *forma de onda*, ou o padrão da corrente ao longo do tempo. A forma de onda da corrente AC mostra as flutuações de uma corrente, com a "corrente positiva" representando o fluxo de elétrons em uma direção, e a "corrente negativa" representando o fluxo na outra direção. A *corrente instantânea* é a força da corrente em um ponto no tempo, e a *corrente de pico* é a magnitude (valor absoluto) da corrente em seus pontos mais altos e mais baixos. Uma vez que você pode usar a função matemática senoidal para calcular a corrente em um determinado período de tempo, é comum referir-se às formas de onda AC como *ondas senoidais*. (Se você sentiu um cheiro de trigonometria, acertou, mas não se preocupe — não precisa tirar o pó dos livros de matemática do ensino médio! Só queremos que fique ciente de que o termo "senoidal" também é usado em eletrônica.) As formas de onda também são utilizadas para descrever uma voltagem flutuante, comumente chamada *voltagem AC*. A *voltagem de pico* (simbolizada por V_p) é a magnitude da voltagem mais alta. Você pode ouvir o termo *voltagem pico a pico* (simbolizado por V_{pp}), que é uma medida da diferença entre a voltagem mais alta e a mais baixa na forma de onda, ou duas vezes o valor de pico. Uma outra expressão muito usada é *voltagem rms* (simbolizada por V_{rms} — rms vem do inglês *root-mean-square*, que significa valor quadrático médio), usada em cálculos de potência como forma de comparar os efeitos da potência AC com a potência DC. Há uma fórmula matemática para calcular esse valor, mas ele acaba sendo 0,7071 vezes o valor de pico da voltagem.

Nas usinas de energia dos Estados Unidos, a bobina dá 60 voltas completas por segundo, então, o fluxo de elétrons muda de direção 120 vezes a cada segundo. Quando a mudança no fluxo de elétrons faz uma volta completa (o que ocorre 60 vezes por segundo), isso é chamado de um *ciclo*. O número de ciclos por segundo na corrente alternada é conhecido como *frequência* e medido em unidades chamadas *hertz*, abreviadas como Hz. Os Estados Unidos e o Canadá geram AC em 60 hertz, enquanto a maioria dos países europeus usa 50 hertz como padrão. É quase certo que qualquer país que você visite no mundo use corrente em 50Hz ou 60Hz.

Este símbolo é usado em diagramas de circuito para fontes de voltagem AC. A AC é normalmente gerada a 13.800 volts e depois *elevada* (transformada em voltagens maiores) para transmissão por longas distâncias. Após atingir seu destino, ela é *abaixada* (transformada em voltagens menores) para 240 ou 120 volts, para a distribuição em casas e empresas. Assim, diz-se que a eletricidade fornecida pelas tomadas elétricas é, em média, 120 volts AC (ou 120 VAC), o que só quer dizer que é uma corrente alternada de 120 volts.

Aquecedores, abajures, secadores de cabelo e barbeadores elétricos estão entre os dispositivos elétricos que usam 120 volts AC diretamente; secadoras de roupa, que requerem mais potência, usam 240 volts AC diretamente de uma tomada especial. Se o seu secador de cabelos usa uma potência em 60 Hz, e você está visitando um país que usa potência em 50 Hz, precisará de um *conversor de potência* para obter os hertz necessários no país em que está.

Muitos aparelhos eletrônicos (por exemplo, computadores *laptop*) requerem uma alimentação DC estável, por isso, se estiver usando AC para alimentar um aparelho ou circuito eletrônico, você precisará converter AC em DC *Fontes de alimentação reguladas*, também conhecidas como *adaptadores AC-DC* ou *adaptadores AC*, na verdade, *não* fornecem energia. Eles convertem AC em DC e costumam vir juntamente com os aparelhos eletrônicos, quando estes são comprados. Pense no carregador do seu celular; este pequeno dispositivo basicamente converte a energia AC em energia DC que a bateria do seu celular usa para se recarregar.

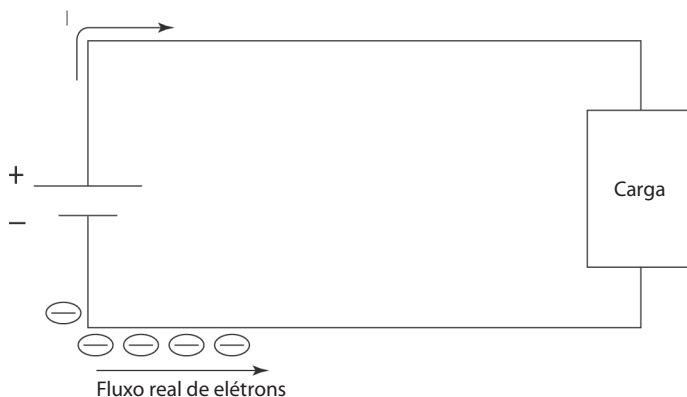
Transformando luz em eletricidade

Células solares, também conhecidas como *células fotovoltaicas*, produzem uma pequena voltagem quando você coloca luz sobre elas. Elas são feitas de *semicondutores*, materiais que ficam em um ponto médio entre os condutores e os isolantes, em termos de sua disposição em abrir mão de seus elétrons. Discutiremos semicondutores, mais detalhadamente, no Capítulo 6. A quantidade de voltagem produzida por uma célula solar é bem constante, não importa quanta luz coloque sobre ela – mas a *força* da corrente que você pode extrair depende da intensidade da luz: quanto mais brilhante, maior a força da corrente disponível.

As células solares têm fios ligados a dois terminais para conduzir elétrons pelos circuitos, para que você possa alimentar sua calculadora ou as lâmpadas de jardim na entrada de sua casa. Você pode já ter visto painéis de células solares usados para alimentar sinais de emergência em estradas, telefones de emergência ou luzes em estacionamentos, mas provavelmente não viu os painéis usados para alimentar satélites (ou, ao menos, não de perto). Os painéis solares estão se tornando cada vez mais populares no fornecimento de energia elétrica para casas e empresas como forma de reduzir os custos dos serviços básicos. Se procurar na internet, encontrará bastante informação sobre como fazer seus próprios painéis solares – por apenas algumas centenas de dólares e disposição em tentar. Você pode ler mais sobre isto em *Solar Power Your Home For Dummies*,* por Rik De Gunther (Wiley Publishing, Inc.)

Entendendo as Direções: Fluxo Real de Elétrons Versus Fluxo de Corrente Convencional

Os primeiros pesquisadores acreditavam que a corrente elétrica era o fluxo de cargas positivas, por isso eles descreveram a corrente elétrica como o fluxo de uma carga de um terminal positivo a um terminal negativo. Muito depois, eles descobriram os elétrons e determinaram que esses fluíam de um terminal negativo a um terminal positivo. Essa convenção original ainda hoje está conosco – por isso, o padrão é ilustrar a direção da corrente elétrica em diagramas com uma flecha que aponta ao contrário da direção do fluxo real de elétrons.

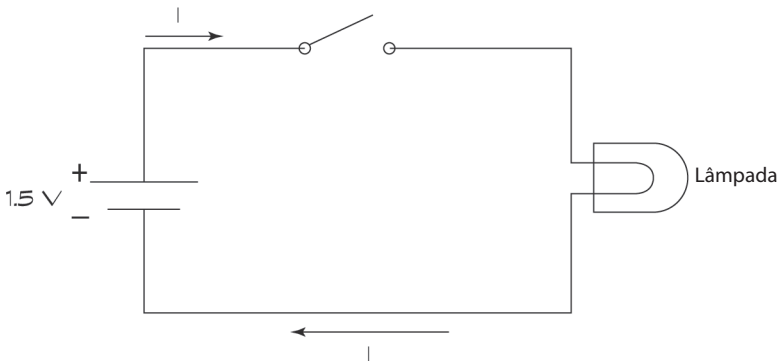
Figura 2-2: A corrente convencionall, flui do lado positivo da fonte de energia para o lado negativo; os elétrons reais fluem do lado negativo para o lado positivo

A *corrente convencional* é o fluxo de uma carga positiva, indo de uma voltagem positiva para uma negativa, e é o contrário do fluxo de elétrons real (Ver Figura 2-2.) Todas as descrições de circuitos elétricos usam a corrente convencional, por isso, se você vir uma flecha ilustrando o fluxo da corrente em um diagrama de circuito, saberá que ela está mostrando a direção do fluxo da corrente convencional. Em eletrônica, o símbolo I representa a corrente convencional medida em amperes (abreviados como A). É mais provável que você encontre *miliamperes* (mA) nos circuitos que construir em casa. Um miliampere é um milésimo de um ampere.

Em circuitos AC, a corrente está constantemente mudando de direção. Então, como mostrar o fluxo da corrente em um diagrama de circuito? Para que lado a flecha deve apontar? A resposta é que não importa. Você escolhe arbitrariamente uma direção para o fluxo da corrente (conhecida como *direção de referência*), e a rotula como corrente I. O valor de I oscila para cima e para baixo, com o alternar da corrente. Se o valor de I for negativo, isso significa apenas que a corrente (convencional) estará fluindo na direção oposta à que a flecha apontar.

Examinando um Simples Circuito de Lâmpada

O diagrama da Figura 2-3 ilustra um circuito operado por pilha que acende uma lâmpada muito semelhante ao que você pode encontrar em uma lanterna. O que você vê na Figura é um diagrama de circuito, ou *esquema*, que mostra todos os seus componentes e como eles estão conectados (discutiremos esquemas em detalhes no Capítulo 10).

A bateria/pilha fornece 1,5 volts DC ao circuito. Isso significa apenas que ela fornece 1,5 volt de forma estável. O sinal de + perto do símbolo da bateria/pilha indica o terminal positivo da bateria/pilha, do qual a corrente flui (corrente convencional, é claro). O sinal de – perto do símbolo da bateria/pilha indica o terminal negativo da bateria, para o qual a corrente flui depois de ter percorrido todo o circuito. A flecha no circuito indica a direção de referência do fluxo da corrente, e, por estar se afastando do terminal positivo da bateria/pilha em um circuito DC, você deve esperar que o valor da corrente seja positivo o tempo todo.

Figura 2-3: A corrente de uma bateria/pilha flui pelo circuito, fornecendo energia elétrica para a lâmpada, à medida que a voltagem é aplicada à lâmpada.

As linhas do diagrama do circuito mostram que seus componentes estão conectados usando um fio ou outros conectores. Discutiremos vários tipos de fios e conectores no Capítulo 8. Interruptores e outros componentes de circuitos costumam ser feitos com *terminais* – fios que se projetam para fora, conectados às entranhas do componente e que propiciam o meio de conectar o componente a outros elementos do circuito.

Próximo à bateria/pilha está um interruptor. Ele simplesmente abre e fecha o circuito, permitindo que a corrente flua da bateria ou pare ali, estacionada nos trilhos. Se o interruptor estiver fechado, a corrente irá fluir para fora da bateria, pela lâmpada, onde a energia elétrica se dissipa como luz e calor, e depois voltará ao terminal negativo da bateria. Se o interruptor estiver aberto, a corrente não fluirá de forma alguma por este *circuito aberto*.

A bateria/pilha estará *fornecendo* energia elétrica e a lâmpada *usando* a energia elétrica (na verdade, convertendo a energia elétrica em energia térmica). Há uma relação do tipo toma lá dá cá entre as duas: a voltagem é o empurrão que a bateria/pilha dá para fazer a corrente se mover, e a energia deste empurrão é absorvida quando a corrente se move pela lâmpada. Conforme a corrente flui através da lâmpada, a voltagem cai ao cruzar a lâmpada. Pense nisso como se ela estivesse esgotando a energia fornecida pela força (voltagem) que empurra a corrente.

Quando houver uma "queda de voltagem" através de uma lâmpada ou outro componente, a voltagem será maior onde a corrente entra no componente do que no ponto em que ela sai. A voltagem é, na verdade, uma medida relativa, pois ela é a força que resulta de uma diferença na carga de um ponto a outro. A voltagem fornecida por uma bateria/pilha representa a diferença de carga do terminal positivo para o negativo, e essa diferença de carga tem o potencial de mover a corrente por um circuito; o circuito, por sua vez, absorve a energia gerada pela força conforme a corrente flui, o que faz cair a voltagem. É por isso que a voltagem é, às vezes, chamada de *queda de voltagem*, *diferença de potencial* ou *queda de potencial*.

Quando vir referências à voltagem *em um único ponto* de um circuito, você deverá saber que é em relação à voltagem em outro ponto do circuito – geralmente a *referência de terra* (comumente chamado simplesmente de *terra*), o ponto do circuito que é (arbitrariamente) considerado como estando a 0 volts. Geralmente, o terminal negativo de uma pilha é usado como referência de terra, e todas as voltagens em todo o circuito são medidas em relação a esse ponto de referência.

Uma analogia pode ajudá-lo a entender que a medição de voltagem é a medição das distâncias. Se alguém lhe perguntasse: "Qual é a sua distância?" você provavelmente diria: "Distância de onde?". Semelhantemente, se lhe perguntassem: "Qual é a voltagem no ponto do circuito onde a corrente entra na lâmpada?" você deveria perguntar: "Em relação a qual ponto do circuito?" Por outro lado, poderia dizer: "Estou a 8 quilômetros de casa", e teria afirmado a sua distância de um ponto de referência (sua casa). Então, se você disser, "A voltagem da corrente que entra na lâmpada é 1,5 volts em relação ao terra," isto faz todo sentido.

Se você começar pelo terminal negativo da bateria/pilha no circuito de lâmpada simples, e percorrer toda a volta do circuito medindo voltagens, você verá que a voltagem no terminal positivo da bateria é 1,5 volts, e todos esses 1,5 volts "caem" na lâmpada (na realidade, o interruptor absorve uma quantia minúscula da voltagem, porque até os melhores condutores consomem alguma energia, mas ela é desprezível em comparação com a queda de voltagem através da lâmpada).

O importante a se notar aqui é que, ao percorrer um circuito DC, você "ganha" voltagem indo do terminal negativo da bateria/pilha para o positivo (isso é conhecido como *subida de voltagem*), e você "perde" ou derruba a voltagem conforme continua na mesma direção através dos componentes do circuito. Quando você volta ao terminal negativo da bateria/pilha, toda a voltagem da bateria cai e você retorna ao 0 volts. Com todos os circuitos (seja AC ou DC), se você começar em qualquer ponto do circuito e adicionar as subidas e quedas ao percorrer o circuito, terminará onde começou. A soma líquida das subidas e quedas na voltagem ao redor do circuito é zero. (Isso é conhecido como *Lei da Voltagem de Kirchoff*).

Protegendo através da "terra"

Em eletrônica, a palavra "terra" pode ter dois significados diferentes. *Terra em terra* significa basicamente o que está dizendo: é uma conexão direta com a terra — a terra real, a matéria do planeta. O parafuso no centro de uma tomada de dois furos AC padrão, bem como o terceiro furo em uma tomada de três furos, está conectado à terra. Por trás de cada tomada de parede há um fio que corre através de sua casa ou escritório e, por fim, conecta se a um poste de metal que faz um bom contato com a terra. Este arranjo proporciona uma proteção adicional aos circuitos que usam grandes quantidades de corrente; encaminhar uma corrente perigosa diretamente para a terra dá a ela um lugar seguro para ir depois que já fez seu trabalho — ou dá a ela uma alternativa que não seja destruir as coisas. Foi este o caso, quando o bastão de relâmpagos de Benjamin Franklin proporcionou um caminho seguro para que o perigoso relâmpago atingisse o chão — em vez de uma casa ou uma pessoa. Nos circuitos que lidam com grandes correntes, algum ponto do circuito geralmente está conectado a um cano ou outro objeto de metal que esteja preso à terra.

O termo *terra flutuante* refere-se a um circuito que não está conectado à terra, o que pode ser perigoso. Seria inteligente da sua parte ficar longe de um circuito assim até que ele esteja seguramente aterrado!

O outro tipo de terra é chamado *terra comum* ou simplesmente *comum*. Não é uma terra física; é apenas um ponto de referência dentro de um circuito para a medição de voltagens. Certos tipos de circuito, particularmente os circuitos comumente usados em computadores, rotulam o terminal negativo de um fornecimento de alimentação DC como terra comum, e conectam o terminal positivo de outra fonte de alimentação DC ao mesmo ponto. Dessa forma, diz-se que o circuito tem os fornecimentos de energia negativo e positivo. Os dois fornecimentos físicos de potência energética podem ser idênticos, mas a forma como você os conecta em um circuito e o ponto que você escolhe como a referência de voltagem zero determinam se o suprimento de voltagem é positivo ou negativo. É tudo relativo!

Tenha em mente que essas quedas de voltagem têm um significado físico real. A energia elétrica fornecida pela bateria/pilha é absorvida pela lâmpada. A bateria continuará fornecendo energia elétrica e lançando corrente, e a lâmpada continuará absorvendo essa energia até a bateria/pilha "morrer" – ficar sem energia. Isso acontece quando todos os produtos químicos dentro da bateria já foram consumidos pelas reações químicas que produziram as cargas positivas e negativas. Na verdade, toda a energia química fornecida pela bateria/pilha foi convertida em energia elétrica – e absorvida pelo circuito.

Uma das leis fundamentais da física é que a energia não pode ser criada ou destruída; ela pode somente mudar de forma. Você realmente vê isso pessoalmente em um simples circuito de uma lâmpada alimentada por bateria/pilha: a energia química é convertida em energia elétrica, que, por sua vez, é convertida em energia térmica e luminosa, que... bem, você entendeu.

Você pode medir a queda de voltagem através da lâmpada usando um *voltímetro* (que discutiremos no Capítulo 12). E, se multiplicar a *voltagem através da lâmpada* (que é uma forma comum de dizer "queda de voltagem") pela força da corrente que passa na lâmpada, você obtém a potência dissipada na lâmpada (potência = voltagem x corrente) em watts.

Controlando a Corrente Elétrica com Componentes Básicos

Se você fosse construir um simples circuito de lâmpada, como o discutido na seção anterior, e não tivesse uma pilha de 1,5 V disponível, poderia achar que não haveria problema em usar a bateria/pilha de 9V guardada no armário da cozinha. Afinal, 9 V é mais do que 1,5 V, portanto, a bateria/pilha deveria fornecer energia suficiente para acender a lâmpada. Mas acontece que, se você usar a pilha de 9 V, seu circuitinho vai extrair muito mais corrente – e vai sobrecarregar sua lâmpada. Se for permitido que elétrons demais passem por um filamento, a energia elétrica dissipada no filamento criará tanto calor, que a lâmpada estourará.

O que você pode fazer é inserir um pequeno dispositivo eletrônico chamado *resistor* entre a bateria e a lâmpada. Os resistores restringem o fluxo da corrente por um circuito e são comumente usados para proteger outros elementos do circuito (como lâmpadas, por exemplo,) para que estes não recebam mais elétrons do que podem aguentar. O resistor é apenas um componente eletrônico que controla o fluxo da corrente em um circuito, mas há muitos mais.

Formas de controlar a corrente

Controlar a corrente elétrica é, de muitas formas, semelhante a controlar uma corrente de H_2O. De quantas maneiras diferentes você pode controlar o fluxo da água usando vários dispositivos de encanamento e outros componentes? Algumas das coisas que você pode fazer são: restringir o fluxo, cortar o fluxo completamente, ajustar a pressão, permitir que a água flua somente em uma direção, e armazenar a água (esta analogia com a água pode ajudar, mas não é 100% válida; você não precisa de um sistema fechado para a água fluir – e *precisa* de um sistema fechado para fazer a corrente elétrica fluir).

Dando-lhe as condições para fazer as escolhas certas

Lâmpadas e outros componentes eletrônicos têm níveis máximos de potência por uma boa razão. Mandando corrente demais, eles superaquecem e queimam ou derretem. Lembre-se que a potência é o produto de voltagem e corrente, por isso, entendendo como determinar as quedas de voltagem e a quantidade de corrente que passa por estes componentes, estará totalmente sob seu controle estimar o *nível de potência* (isto é, quantos watts o componente pode aguentar antes de estourar na sua cara) que você precisa nos componentes que selecionar para os seus circuitos.

Há muitos e muitos componentes eletrônicos que ajudam a controlar a energia elétrica nos circuitos. (Ver Figura 2-4.) Entre os componentes mais populares estão os *resistores*, que restringem o fluxo da corrente, e os *capacitores*, que armazenam energia elétrica. Discutiremos extensivamente os resistores no Capítulo 3 e os capacitores no Capítulo 4. *Indutores* e *transformadores* são dispositivos que armazenam energia elétrica em campos magnéticos. Você obterá detalhes sobre eles no Capítulo 5. Os *diodos* são usados para restringir o fluxo da corrente em uma direção, de forma muito semelhante às válvulas, enquanto os *transistores* são componentes versáteis usados para ligar e desligar circuitos, ou amplificar a corrente. Cobriremos diodos e transistores no Capítulo 6.

Componentes ativos versus passivos

Você pode ver termos como *componentes ativos* e *componentes passivos* usados como nomes de categorias para tipos de componentes eletrônicos. *Componentes ativos* são dispositivos que fornecem ganho à corrente (ou seja, reforçam), ou as direcionam; são exemplos os transistores e os diodos (também podem ser classificados como *semicondutores*, referindo-se ao tipo de material do qual são feitos.) *Componentes passivos* não fornecem ganho (amplificação) nem direcionam a corrente – embora possam retardar a corrente ou armazenar energia elétrica – assim, os resistores, capacitores, indutores e transformadores são todos componentes passivos. Transformadores elevam a voltagem, enquanto diminuem a corrente. Um circuito que contém apenas componentes passivos chama-se *circuito passivo*; já o que *tem pelo menos um* componente ativo, é um *circuito ativo*.

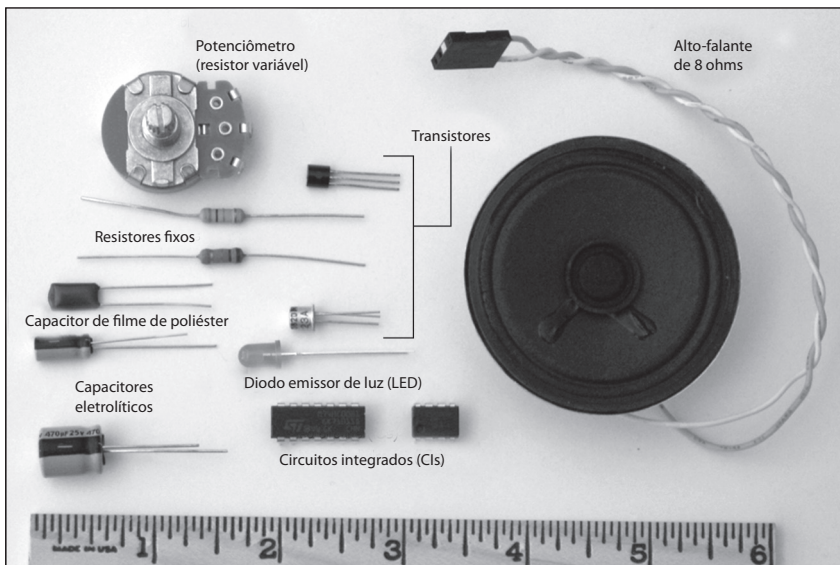



Figura 2-4: Os componentes eletrônicos vêm em várias formas e encapsulamentos.

Fazendo Conexões: Série e Paralelo

Assim como você pode construir estruturas de todas as formas e tamanhos conectando peças de LEGO de diversas maneiras, você também pode construir muitos tipos diferentes de circuitos conectando componentes eletrônicos de várias formas. E a forma como você conecta os componentes dita como o fluxo da corrente flui no seu circuito – e como a voltagem cai em todo o circuito.

Conexões em série

No circuito de lâmpada simples examinado antes neste capítulo (Reveja a Figura 2-3), a corrente flui do terminal positivo da pilha, segue pelo interruptor fechado, pela lâmpada e volta ao terminal negativo da pilha. Você pode chamar este arranjo de *circuito em série*, o que significa apenas que a corrente percorre cada componente sequencialmente – em série.

Duas coisas importantes das quais precisa lembrar-se sobre os circuitos em série são:

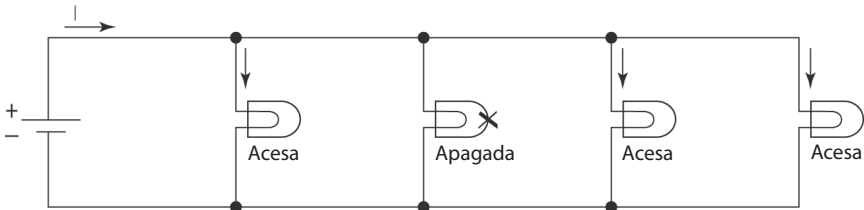
- Cada componente tem a mesma corrente.
- A voltagem fornecida pela fonte é dividida (embora não necessariamente de forma igual) entre os componentes. Se você somar as quedas de voltagem em cada componente, obterá a voltagem total fornecida.

Há um problema em potencial que você pode encontrar nos circuitos em série: se um componente falhar, ele cria um circuito aberto, parando o fluxo da corrente para todos os componentes do circuito. Por isso, se o painel luminoso caríssimo do seu novo restaurante contiver 200 lâmpadas ligadas em série dizendo "A MELHOR COMIDA DA CIDADE" e alguém chutar uma bola em uma lâmpada, todas as lâmpadas se apagarão.

Conexões em paralelo

Há uma forma de impedir que todos os componentes de um circuito em série sofram um 'apagão' quando um deles falha. Você pode ligar os componentes usando conexões em paralelo – como as do circuito mostrado na Figura 2-5. Com um circuito em paralelo, mesmo que várias bolas sejam chutadas e arranquem algumas lâmpadas do seu painel luminoso, o restante ainda continuará aceso. (É claro que, você pode acabar ficando com um luminoso que diz "A MELHOR COM IDADE". Tudo tem seus prós e contras.)

Veja como o circuito em paralelo da Figura 2-5 funciona: a corrente flui do terminal positivo da pilha e, depois, divide-se em cada ramo do circuito para que cada lâmpada receba uma parcela da corrente fornecida. A corrente que flui em uma lâmpada não flui nas outras. Assim, se o painel luminoso do seu restaurante tiver 200 lâmpadas ligadas em paralelo, e uma delas queimar, a luz ainda brilhará nas outras 199.

Figura 2-5: As lâmpadas geralmente são dispostas em circuito paralelo para que, se uma se queimar, as restantes permaneçam acesas.

Nos circuitos em paralelo, a voltagem em cada ramo paralelo do circuito é a mesma. Quando você souber calcular a corrente que flui em cada ramo do circuito (discutido no Capítulo 3), poderá ver que, se somar as correntes de todos os ramos, obterá a corrente total fornecida pela pilha.

Duas coisas importantes das quais precisa lembrar-se sobre os circuitos em paralelo são:

- A voltagem em cada ramo é a mesma.
- A corrente fornecida pela fonte é dividida pela quantidade de ramos. As correntes dos ramos somadas produzem a corrente total fornecida.

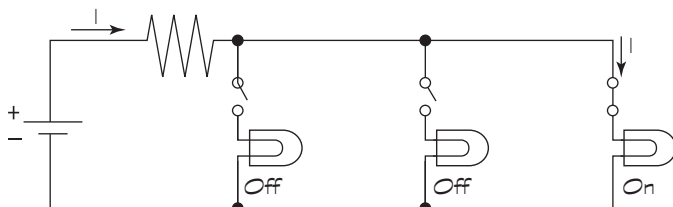
Para os mesmos componentes de circuito, conectá-los em paralelo extrai mais corrente da sua fonte do que conectá-los em série. Se o seu circuito é alimentado por uma pilha, você precisa estar ciente de quanto tempo sua bateria pode fornecer a corrente necessária ao seu circuito. Como discutiremos no Capítulo 8, as baterias têm classificações em *amperes-hora*. Uma pilha com uma indicação de um ampere-hora (por exemplo) durará apenas uma hora em um circuito que extraia um ampere da corrente (teoricamente, ao menos; na prática, mesmo pilhas novas nem sempre cumprem suas promessas de amperes-hora). Portanto, ao decidir qual fonte de energia usar em um circuito, você deve levar em conta a corrente que um circuito extrai e por quanto tempo você quer que o circuito funcione.

Circuitos em associação mista

A maioria dos circuitos usa combinações de conexões em série e paralelas. A forma como você dispõe os componentes em um circuito depende do que você está tentando fazer. Veja o circuito em associação mista da Figura 2-6. Você vê um resistor (simbolizado por um trecho de linha em zigue-zague no diagrama) em série com a pilha, e, depois, três ramos paralelos, cada um contendo um interruptor em série com uma lâmpada. Se todos

os três interruptores estiverem fechados, a corrente fornecida viajará pelo resistor e então será separada em três caminhos diferentes – com alguma corrente passando em cada uma das três lâmpadas. Se todos os três interruptores estiverem abertos, não haverá um caminho completo a ser percorrido pela corrente, por isso, nenhuma corrente fluirá da pilha. Se apenas um interruptor estiver fechado, toda a corrente fornecida fluirá por aquela lâmpada, e as outras lâmpadas ficarão apagadas. Ao escolher qual interruptor ficará aberto em qualquer momento, você controla qual lâmpada ficará acesa. Você pode imaginar um circuito como este operando um semáforo de três fases (com algumas peças a mais controlando o tempo e a sequência da ação dos interruptores).

Para analisar circuitos em combinação, você tem que aplicar as "regras" de corrente e voltagem, um passo de cada vez, usando regras de série para os componentes em série, e regras de paralelos para os componentes em paralelo. Neste ponto, você não tem informações suficientes para calcular todas as correntes e voltagens nos circuitos de lâmpadas que mostramos aqui. Você precisa conhecer mais uma regra, chamada *Lei de Ohm*, e então terá tudo de que precisa para analisar circuitos simples. Cobriremos a Lei de Ohm e a análise de circuitos básicos no Capítulo 3.

Figura 2-6: Abrindo e fechando os interruptores no circuito em associação mista, você pode direcionar a corrente fornecida para diferentes caminhos.

Criando Sistemas Eletrônicos

Para se ter uma ideia de quanto você pode realizar, conectando vários componentes eletrônicos em circuitos em combinação, faremos um *tour* por alguns aparelhos eletrônicos avançados. Mas não se preocupe; não esperamos que você acompanhe os elétrons que vão atravessando uma teia complexa de circuitos. Queremos apenas convencê-lo de que, até os sistemas eletrônicos absurdamente complicados, que consistem em uma parafernália confusa de componentes, fazem os mesmos tipos de coisa que os circuitos simples: manipulam a corrente elétrica para realizar uma tarefa.

São dois exemplos de sistemas eletrônicos avançados: o sistema radiorrecptor do seu carro e o seu televisor.

Decifrando sinais elétricos

Um *sinal elétrico* é o padrão, no tempo, de uma corrente elétrica. Geralmente, o modo como um sinal elétrico muda sua forma é que irá transmitir informações sobre algo físico, como a intensidade da luz, do calor ou do som, ou a posição de um objeto, como o diafragma de um microfone ou o eixo de um motor. Pense no sinal elétrico como um código, algo como o código Morse, enviando e recebendo mensagens secretas que você pode entender – se conhecer a chave.

Um *sinal elétrico analógico*, ou simplesmente *sinal analógico*, tem esse nome por ser um "análogo" ou um mapeamento um a um da quantidade física que ele representa. Por exemplo, quando um estúdio de som grava uma música, as flutuações na pressão do ar (isso que é o som) movem o diafragma de um microfone, que produz variações correspondentes em corrente elétrica. Essa corrente flutuante é uma representação do som original, ou um sinal elétrico analógico.

Sistemas digitais, como os computadores, não conseguem lidar com sinais análogos contínuos, então os sinais elétricos devem ser convertidos em formato digital antes de entrar nas profundezas de um sistema digital. O *formato digital* é outro esquema de codificação que usa apenas os valores binários 1 e 0 pra representar informações. (Ei! Isso é como os pontos e traços do código Morse!) Um *sinal digital* é criado coletando-se o valor de um sinal analógico em intervalos regulares de tempo, e convertendo cada valor em uma série de *bits*, ou dígitos binários.

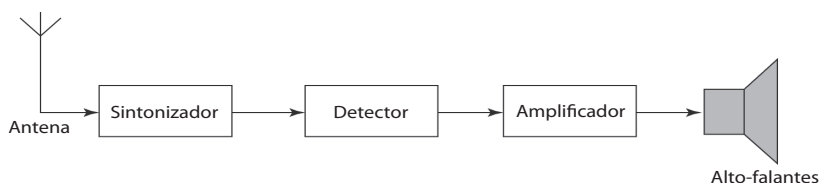
Fazendo o som aparecer do nada

Os componentes eletrônicos de um sistema radiorreceptor controlam a corrente que vai para os alto-falantes para você poder ouvir os sons que a sua emissora de rádio preferida transmite. Como a maioria dos sistemas eletrônicos complexos, um sistema radiorreceptor é composto por várias etapas, onde cada etapa realiza uma função específica, e a saída de cada uma dessas etapas é inserida na entrada da outra. Para fazer com que seus alto-falantes reproduzam os sons originalmente criados no estúdio, a eletrônica do seu aparelho de som realiza essas diferentes funções:

- **Antena**: Capta as ondas de rádio (sinais invisíveis transmitidos de muitas emissoras de rádio diferentes) no ar e as transforma em *sinal elétrico*, que é um fluxo variável de corrente elétrica. (ver o quadro "Decifrando sinais elétricos".)
- **Sintonizador**: Escolhe apenas um sinal de rádio dentre todos os sinais capturados pela antena, rejeitando os outros.
- **Detector**: Separa o sinal de áudio (uma réplica do som original) do de rádio (que, além do sinal de áudio, inclui um sinal "portador" que o transporta pelo ar).
- **Amplificador**: Amplia os minúsculos sinais de áudio para que você possa ouvi-los.
- **Alto-falantes**: Transformam o sinal de áudio em som.

Cada fase contém um bocado de componentes eletrônicos combinados de uma determinada forma para manipular ou "modelar" o sinal. Depois de toda essa manipulação de sinal, este é enviado aos alto-falantes para ser transformado em som. O padrão específico e a intensidade com que o sinal elétrico move o diafragma determinam o que, exatamente, você ouve, e em que volume.

O pessoal técnico costuma usar *diagramas de bloco* para descrever a funcionalidade de sistemas eletrônicos complexos, como o radiorreceptor mostrado na Figura 2-7. Cada bloco representa um circuito que recebe a saída do bloco anterior como seu sinal de entrada, realiza alguma função, e produz um *sinal de saída*, que é inserido em outra fase do sistema.

Figura 2-7: Diagrama de bloco representando um sistema radiorreceptor. A eletrônica do sistema modela a corrente elétrica de várias formas antes de ela alimentar os alto-falantes.

Pintando imagens com elétrons

Seu televisor, não importa se ele utiliza um antiquado tubo de raios catódicos (também chamado CTR, do inglês 'cathode-ray-tube') ou as mais novas telas de plasma ou de cristal líquido (LCD) para lhe mostrar todas aquelas imagens, ou se utiliza a eletrônica para controlar quais elementos de imagem (*pixels*) são disparados na tela em um dado momento para "pintar" uma imagem com elétrons. O sinal elétrico que entra na sua TV carrega informações sobre a imagem a ser mostrada (seja do seu provedor de sinal de TV ou da saída de outro aparelho eletrônico, como um DVD *player*). Os componentes eletrônicos dentro do televisor "decodificam" detalhadamente esse sinal elétrico e aplicam a informação transportada pelo sinal para controlar a cor e a intensidade de cada *pixel*.

Diferentes tipos de TV ativam *pixels* de exibição de formas diferentes. Por exemplo, a eletrônica de um televisor colorido com tubo de imagem emite três feixes separados de elétrons, posicionando-os para atingir a camada de fósforo colorido na superfície interna da tela. A eletrônica também controla se cada feixe está aceso ou apagado ao varrer cada *pixel*. Resultado: a porção específica de fósforo para a qual o feixe é apontado pode ser bombardeada ou deixada em paz. Quando um feixe de elétrons atinge um ponto do fósforo, ele brilha. Coordenando o movimento e os estados de aceso ou apagado dos feixes, assim chamados “vermelhos”, “azuis” e “verdes”, a eletrônica da sua TV cria imagens coloridas na tela.

Capítulo 3
Entendendo a Resistência Elétrica

Neste Capítulo:

- Usando a resistência em seu benefício
- Criando a quantidade certa de resistência com resistores fixos e variáveis
- Entendendo como a corrente, a voltagem e a resistência são governadas pela Lei de Ohm
- Praticando a Lei de Ohm ao analisar circuitos
- Utilizando potência como seu guia na escolha dos componentes do circuito

Se você jogar uma bolinha de gude em uma caixa de areia, a bolinha não irá muito longe. Mas se você jogá-la na superfície de um lago congelado, a bolinha desfrutará de uma bela viagem até finalmente parar. Uma força mecânica chamada atrito para a bolinha de gude em ambas as superfícies – simplesmente porque a caixa de areia fornece mais atrito do que o gelo.

Resistência, em eletrônica, é muito semelhante ao atrito nos sistemas mecânicos: ela coloca freios nos elétrons (aquelas minúsculas partículas em movimento que formam a corrente elétrica) à medida que eles se movem nos materiais.

Este capítulo enfoca o que, exatamente, é a resistência, onde você pode encontrá-la (em todos os lugares), e como você pode usá-la em seu benefício, selecionando resistores (componentes que fornecem quantidades controladas de resistência) para os seus circuitos eletrônicos. A seguir, você dará uma espiada no relacionamento íntimo entre a voltagem (a força elétrica que empurra os elétrons) e a corrente nos componentes que têm resistência, resumido muito lindamente em uma equação muito simples com um nome de peso: a Lei de Ohm. O próximo passo é colocar a Lei de Ohm para funcionar, analisando o que se passa em alguns circuitos básicos. Finalmente, você dará uma olhada no papel da Lei de Ohm e cálculos afins sobre voltagem e potência na criação de circuitos eletrônicos.

Resistindo ao Fluxo da Corrente

A *resistência* é uma medida da oposição de um objeto ao fluxo de elétrons. Isso pode parecer algo ruim, mas, na verdade, é muito útil. A resistência é o que possibilita gerar o calor e a luz, restringir o fluxo da corrente elétrica quando necessário, e garantir que a voltagem correta seja fornecida a um aparelho. Por exemplo, à medida que os elétrons viajam pelo filamento de uma lâmpada, eles encontram tanta resistência, que desaceleram um pouco. Enquanto eles lutam para atravessar todo o filamento, os átomos do filamento trombam-se, furiosamente, gerando calor – o que produz o brilho que você vê na lâmpada.

Tudo – até os melhores condutores – exerce certa quantidade de resistência ao fluxo de elétrons. Bem, na verdade, há alguns materiais, chamados *supercondutores*, capazes de conduzir a corrente com resistência elétrica zero – mas só se você os resfriar a temperaturas extremamente baixas. Você não os encontrará na eletrônica convencional. Quanto mais alta a resistência, mais restrito é o fluxo da corrente. Então, o que determina quanta resistência tem um objeto? A resistência depende de vários fatores:

- **Material**: Alguns materiais permitem que seus elétrons circulem livremente, enquanto outros seguram firmemente seus elétrons. Os condutores têm *resistividade* relativamente baixa, enquanto os isolantes têm resistividade relativamente alta.
- **Área seccional**: A resistência varia inversamente à área seccional: quanto maior o diâmetro, mais fácil será para os elétrons se moverem – isto é, mais baixa a resistência ao movimento deles. Pense na água fluindo em um cano: quanto mais largo for o cano, mais facilmente a água fluirá. Da mesma forma, um fio de cobre de diâmetro maior tem uma resistência mais baixa do que um fio de cobre com diâmetro pequeno.
- **Comprimento**: Quanto mais longo o material, mais resistência ele tem, pois há mais oportunidades elétrons trombarem com outras partículas no caminho. A resistência varia proporcionalmente ao comprimento.
- **Temperatura**: Na maioria dos materiais, quanto mais alta a temperatura, mais alta será a resistência. Temperaturas mais altas significam que as partículas internas têm mais energia, por isso elas trombam mais umas nas outras, retardando o fluxo de elétrons. Uma exceção notável a isso é um tipo de resistor chamado *termistor*: Aumentando-se a temperatura de um termistor, ele *diminui* sua resistência de forma muito previsível. Você pode imaginar como isso é útil nos circuitos de sensoreamento de temperatura. Você poderá ler sobre os termistores no Capítulo 8.

Usa-se o símbolo R para representar a resistência em um circuito elétrico. Às vezes, você verá um texto subscrito junto a uma resistência, por exemplo, $R_{lâmpada}$. Isto significa, apenas, que $R_{lâmpada}$ representa a resistência

da lâmpada (qualquer que seja o componente do circuito a qual o subscrito se refira). A resistência é medida em unidades chamadas *ohms*, abreviadas com a letra grega ômega (Ω). Quanto maior o valor em ohms, maior a resistência.

Um ohm sozinho é uma unidade de resistência tão pequena, que você provavelmente a encontrará medida em quantidades maiores, como *quilo-ohms*, que são milhares de ohms, e cuja abreviação é *kΩ*, ou *mega-ohms*, que são milhões de ohms, cuja abreviação é *MΩ*. Então, 1 kΩ = 1.000 Ω, e 1 MΩ = 1.000.000 Ω.

Resistores: Passivos, Mas Poderosos

Os *resistores* são componentes eletrônicos passivos especialmente criados para fornecer quantidades controladas de resistência (por exemplo, 470 Ω ou 1 kΩ). Embora um resistor não forneça ganho, ou controle a direção do fluxo da corrente (porque ele é passivo), você verá que ele é um dispositivo muito pequeno, mas poderoso, pois permite que você coloque freios no fluxo da corrente de uma forma muito controlada. Escolhendo e dispondo cuidadosamente os resistores em diferentes partes do seu circuito, você pode controlar exatamente quanta (ou quão pouca) corrente cada componente do circuito recebe.

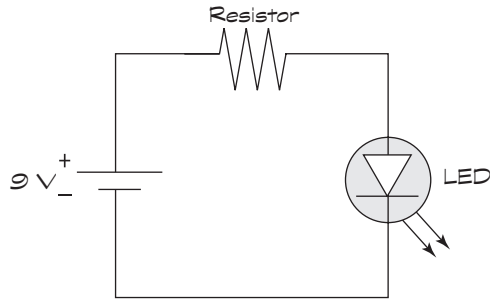
Para que são usados os resistores?

Os resistores estão entre os componentes eletrônicos mais populares porque são simples e versáteis. Um dos usos mais comuns de um resistor é limitar a quantidade de corrente em parte de um circuito, mas os resistores também podem ser usados para controlar a quantidade de voltagem fornecida em uma parte do circuito.

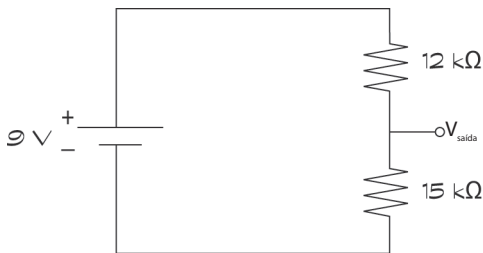
Limitando a corrente

O circuito da Figura 3-1 mostra uma bateria de 9 V fornecendo corrente a um pequeno dispositivo chamado LED (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz) através de um resistor (mostrado como um zigue-zague). Os LEDs (como muitos outros componentes eletrônicos) devoram corrente como uma criança come doces: eles tentam abocanhar o quanto você lhes der. Mas os LEDs têm um problema – eles se queimam se puxarem corrente demais. O resistor no circuito serve à função muito útil de limitar a quantidade de corrente enviada ao LED (assim como um bom pai restringe a ingestão de doces).

Corrente demais pode destruir muitos componentes eletrônicos sensíveis – como os transistores (que discutiremos no Capítulo 6) e os circuitos integrados (que discutiremos no Capítulo 7). Colocando um resistor na entrada de um componente sensível, você limita a corrente que o atinge. mas se usar um resistor muito grande, digamos, de 1 Mk, você limitará tanto a corrente que não verá a luz, embora ela esteja lá! Esta técnica simples pode lhe poupar muito tempo e dinheiro que, de outra forma, você perderia consertar as queimas acidentais das peças no seu circuito.

Figura 3-1: O resistor limita a quantidade de corrente que flui para um componente sensível, como o diodo emissor de luz (LED neste circuito).

Reduzindo e controlando a voltagem

Os resistores podem ser usados para reduzir a voltagem fornecida a diferentes componentes de um circuito. Digamos, por exemplo, que você tenha o fornecimento de 9 V, mas precise fornecer 5 V parar alimentar um circuito integrado específico que está usando. Você pode preparar um circuito, como o que é mostrado na Figura 3-2, para dividir a voltagem de modo a fornecer 5 V na saída. Então – *voilá* – você pode usar a voltagem de saída, $V_{saída}$, deste *divisor de voltagem* como a voltagem fornecida ao seu circuito integrado. Você encontra os detalhes de como exatamente isso funciona mais adiante neste capítulo.

Figura 3-2: Use dois resistores para criar um divisor de voltagem, uma técnica comum que produz diferentes voltagens para diferentes componentes de um circuito.

Você também pode colocar um resistor para trabalhar com outro componente popular – um capacitor, que discutiremos no Capítulo 4 – para criar balanços para cima e para baixo na voltagem de forma previsível.

Você verá que a combinação resistor-capacitor ajuda a criar um tipo de *timer*-ampulheta que vem a calhar para circuitos com dependências de tempo (por exemplo, um semáforo de três fases).

Escolhendo um tipo de resistor: Fixo ou variável

Os resistores vêm em duas formas básicas: fixo e variável. Veja toda a verdade sobre cada tipo, e por que você escolheria um ou outro:

- Um ***resistor fixo*** fornece uma resistência constante e determinada de fábrica (até aqui, nenhuma surpresa – é isso que "fixo" significa). Mas a resistência real de um resistor pode variar (para cima ou para baixo) de seu valor nominal em alguma porcentagem, conhecida como **tolerância do resistor**. Assim, quando você escolhe, digamos, um resistor de 1.000 Ω com tolerância de 5%, a resistência real que ele fornece pode ser qualquer coisa entre 950 Ω e 1.050 Ω, mais ou menos 5%. Há duas categorias de resistores fixos (ver Figura 3-3):
    - ***Resistores de alta precisão*** vêm dentro de apenas 1% de seu valor nominal. Você os utiliza nos circuitos onde precisa de extrema exatidão, como uma função de *timer* ou um circuito de referência de voltagem.
    - ***Resistores de precisão padrão*** podem variar algo entre 2% e (gulp!) 20% de seu valor nominal. Sinais na cápsula do resistor informarão o distanciamento que a resistência real pode atingir (por exemplo, ±2%, ±5%, ±10% ou ±20%). Você usa resistores-padrão na maioria dos projetos de *hobby* porque quase sempre trabalha com resistores para limitar corrente ou dividir voltagens dentro de uma variação aceitável. Os resistores com 5% ou 10% de tolerância são usados comumente em circuitos eletrônicos.
- Um ***resistor variável***, geralmente chamado de *potenciômetro*, ou *reostato*, permite a você reajustar continuamente a resistência, de praticamente zero ohm a um valor determinado de fábrica. Você usa um potenciômetro quando quer variar a quantidade de corrente ou voltagem que está fornecendo a um componente do seu circuito. Alguns exemplos de onde encontrar potenciômetros: botões de *dimmer* de luzes, controles de volume em sistemas de som e controles para jogos (joysticks) ou aeromodelos.

Em diagramas de circuitos, também chamados *esquemas* (detalhados no Capítulo 10), você usa um símbolo em forma de zigue-zague para representar um resistor fixo. Não há indicador de polaridade (+ ou -) em um resistor; a corrente passa por ele em qualquer sentido. Adicionando uma flecha através do zigue-zague, você cria o símbolo esquemático de um *reostato* (isto é, um resistor variável com dois terminais), e, adicionando uma flecha apontando para dentro do zigue-zague, você cria o símbolo de um *potenciômetro* (um resistor variável com três terminais). (Ver Figura 3-4.) Explicaremos a diferença entre reostatos e potenciômetros no quadro intitulado "Que diferença faz o nome?" mais adiante neste capítulo.

Figura 3-3: Faixas codificadas por cores expressam o valor de um resistor fixo; potenciômetros geralmente trazem gravado o valor de sua resistência máxima.

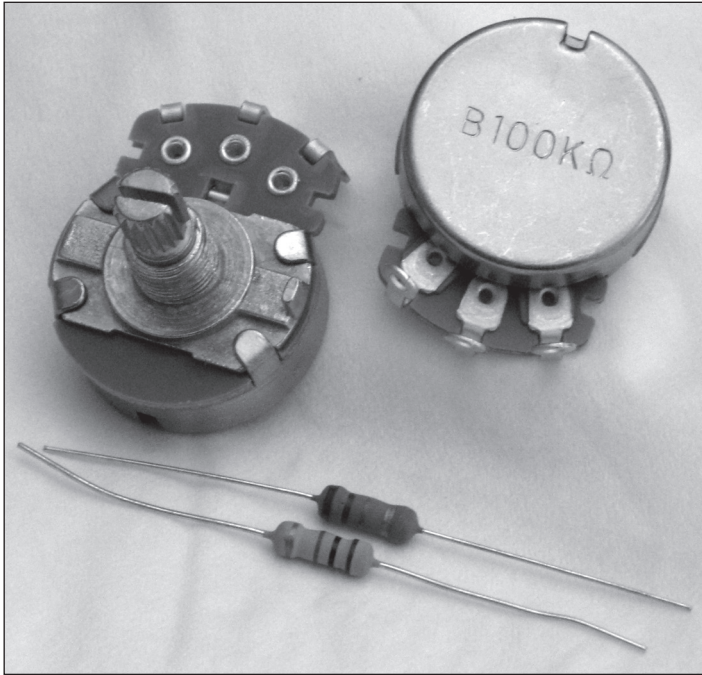



Figura 3-4: Símbolos de resistor.

Interpretando resistores fixos

A maioria dos resistores vem em cápsulas cilíndricas com dois terminais projetados para fora para que você possa conectá-los a outros elementos do circuito (ver o quadro "Reconhecendo resistores em placas de circuito impresso" sobre as exceções). Você vai gostar de saber que pode inserir um resistor fixo em qualquer direção no circuito – não há direita ou esquerda, lado de cima ou de baixo, quando se trata desses agradáveis pequeninos dispositivos de dois terminais.

As atraentes cores do arco-íris adornando a maioria dos resistores servem a outro propósito, além de atrair os olhos. A codificação em cores identifica o *valor nominal* e a *tolerância* da maioria dos resistores, enquanto outros são cinzentos e sem graça, e eles têm os valores gravados neles. O código de cor começa perto da borda de um lado do resistor

e consiste de várias faixas, ou *bandas*, de cor. Cada cor representa um número, e a posição da banda indica como você usa esse número. Resistores-padrão usam quatro bandas coloridas: as três primeiras indicam o valor nominal do resistor, e a quarta indica a tolerância. Resistores de precisão usam cinco bandas coloridas: as quatro primeiras indicam o valor, e a quinta indica a tolerância (tipicamente ±1%).

Usando um anel decodificador especial (brincadeira – na verdade, você lê o código de cores do resistor, o qual é mostrado nas primeiras duas colunas da Tabela 3-1), você pode decifrar o valor nominal de um resistor padrão conforme segue:

- A **primeira banda** lhe dá o primeiro dígito.
- A **segunda banda** lhe dá o segundo dígito.
- A **terceira banda** lhe dá o número multiplicador, na forma de zeros, exceto se ela for dourada ou prateada.
  - Se a terceira banda for **dourada**, você multiplica por 0,1 (divide por 10)
  - Se a terceira banda for **prateada**, você multiplica por 0,01 (divide por 100)

  Resultado: Você obtém o valor nominal da resistência colocando os dois primeiros dígitos juntos (lado a lado) e aplicando o multiplicador.

A quarta banda (tolerância) usa um código de cor diferente, conforme mostrado na terceira coluna da Tabela 3-1. Se não houver quarta banda, você pode considerar que a tolerância é ±20%.

Tabela 3-1 Codificação de cores do resistor

Cor	*Número*	*Tolerância*
Preto	0	±20%
Marrom	1	±1%
Vermelho	2	±2%
Laranja	3	±3%
Amarelo	4	±4%
Verde	5	n/a
Azul	6	n/a
Violeta	7	n/a
Cinza	8	n/a
Branco	9	n/a
Dourado	0,1	±5%
Prateado	0,01	±10%

Dê uma olhada nestes dois exemplos:

- **Vermelho-vermelho-amarelo-dourado**: Um resistor com as faixas vermelha (2), vermelha (2), amarela (4 zeros) e dourada (±5%) representa uma resistência nominal de 220.000 kΩ que pode variar para cima ou para baixo em até 5% desse valor. Então, ele pode ter uma resistência entre 209 kΩ e 231 kΩ.
- **Laranja-branco-dourado-prateado**: Um resistor com as faixas laranja (3), branca (9), dourada (0,1) e prateada (±10%) representa um valor de 39 x 0,1, ou 3,9 Ω que pode variar em até 10% desse valor. Então, a resistência real pode ser algo entre 3,5 Ω e 4,3 Ω.

Para resistores de alta precisão, as primeiras três bandas coloridas mostram os três primeiros dígitos, a quarta mostra o multiplicador e a quinta representa a tolerância.

A maioria dos projetos de circuito lhe diz a tolerância do resistor mais seguro a ser usado, seja para cada resistor individual ou para todos os resistores do circuito. Procure por uma notação na lista de componentes ou uma nota de rodapé embaixo do diagrama do circuito. Se o esquema não declarar tolerância, você pode supor que não há problema em usar resistores de tolerância padrão (±5% ou ±10%).

Lidando com potenciômetros

Potenciômetros consistem em uma trilha de resistência (*resistence track*) com conexões nas duas pontas e um *varredor* (*wiper*) que se move pela trilha, conforme você ajusta a resistência em uma variação de 0 (zero) Ω a algum valor máximo (ver Figura 3-5). O mais comum é que os potenciômetros tragam gravado seu valor máximo – 10k, 50k, 100k, 1M e assim por diante – e eles nem sempre incluem o pequeno símbolo de ohm (Ω). Por exemplo, com um potenciômetro de 50K, você pode ajustar qualquer resistência de 0 a 50.000 Ω.

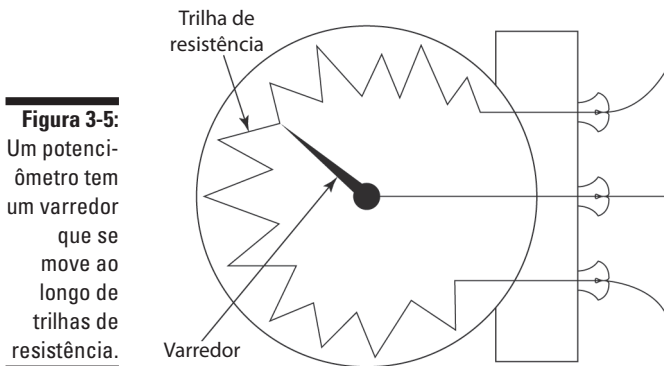



Figura 3-5: Um potenciômetro tem um varredor que se move ao longo de trilhas de resistência.

Tenha em mente que a variação no potenciômetro é somente aproximada. Se o potenciômetro não trouxer indicações, use um multímetro para descobrir o valor do componente. O capítulo 12 mostra como testar resistências usando um multímetro.

Que diferença faz o nome?

A palavra *potenciômetro* é geralmente usada para classificar todos os resistores variáveis, mas há uma diferença entre reostatos e potenciômetros. Os reostatos são dispositivos de dois terminais, com um deles conectado ao varredor e o outro ao fim da trilha de resistência. Tecnicamente, um potenciômetro é um dispositivo de três terminais; seus terminais se conectam ao varredor e a *ambas* as pontas da trilha de resistência. Você pode usar um potenciômetro como reostato (como é muito comum) conectando apenas dois de seus terminais, ou pode conectar todos os três terminais em seu circuito – e obter tanto um resistor variável quanto um fixo pelo preço de um!

Os reostatos costumam aguentar níveis mais altos de voltagem e corrente do que os potenciômetros. Isso faz com que eles sejam ideais para aplicações industriais, como controlar a velocidade de motores elétricos em grandes máquinas. Porém, os reostatos têm sido largamente substituídos por circuitos que usam dispositivos com semicondutores (ver o Capítulo 6), os quais consomem muito menos energia.

Os potenciômetros permitem ajustar a resistência continuamente, e estão disponíveis em vários encapsulamentos conhecidos como rotativos, deslizantes e multivoltas:

- *Potenciômetros rotativos* contêm trilhas de resistência rotativas e são controlados pelo girar de um eixo ou botão. Comumente usados em projetos eletrônicos, os potenciômetros rotativos são projetados para serem montados através de um buraco no encapsulamento que abriga um circuito, com o botão acessível do lado de fora do encapsulamento. Potenciômetros rotativos são populares para ajustar volume em circuitos de som.
- *Potenciômetros deslizantes* contêm uma trilha de resistência linear e são controlados movendo-se um controle deslizante ao longo da trilha. Você os vê em aparelhos de som e alguns controles *dimmer* de luz.
- *Potenciômetros multivoltas* (também conhecidos como *trim pots*) são menores, e foram projetados para serem montados em uma placa de circuito, e oferecem um parafuso para ajustar a resistência. Costumam ser usados para dar sintonia fina ao desenho do circuito – por exemplo, para ajustar a sensibilidade de um circuito fotossensível – mais do que para permitir variações (como ajustes de volume) durante a operação do circuito.

Se for usar um potenciômetro em um circuito, tenha em mente que, se o varredor for “girado para baixo” totalmente, você obterá resistência zero, e não estará limitando corrente nenhuma com este dispositivo. É uma prática comum inserir um resistor fixo em série com um potenciômetro como “rede de segurança” para limitar a corrente. Você pode escolher um valor para o resistor fixo para que ele funcione junto com seu resistor variável e produza a variação de resistência do qual precisa. Procure detalhes, mais adiante neste capítulo, sobre como descobrir a resistência total de múltiplos resistores em série.

Reconhecendo resistores em placas de circuito impresso

Conforme você aprende mais sobre eletrônica, você pode ficar curioso a ponto de dar uma olhada dentro de alguns dos eletrônicos na sua casa. (Aviso: tenha cuidado! Siga as orientações de segurança dadas no Capítulo 9.) Pode, (por exemplo) abrir o controle remoto da sua TV e ver alguns componentes conectados entre um *touchpad* (almofada de toque) e um LED. Em algumas *placas de circuito impresso* (PCIs) – que servem de plataformas para a construção de circuitos produzidos em massa, encontrados comumente em computadores e outros sistemas eletrônicos – você pode ter dificuldade em reconhecer os componentes individuais do circuito. Isso é devido ao fato de os fabricantes usarem técnicas sofisticadas para povoar as PCIs com componentes, buscando aproveitar ao máximo as eficiências e economizar espaço nas placas. Uma dessas técnicas, a *tecnologia de montagem superficial* (SMT, do nome em inglês – *surface-mount technology*), permite que os componentes sejam montados diretamente na superfície de uma placa (pense nelas como uma tropa pulando para a formação). Os dispositivos de montagem em superfície (SMD, do nome em inglês – *surface-mount devices*), como resistores SMT, têm uma aparência um pouco diferente da dos componentes que você usaria para construir um circuito na sua garagem, pois eles não requerem terminais longos para se conectar em um circuito. Tais componentes usam seu próprio sistema de código para rotular o valor da peça.

Você sempre pode usar um multímetro para medir a resistência de um resistor desconhecido ou a resistência variável fornecida por um potenciômetro. Ver o Capítulo 12 para obter os detalhes de como fazer.

Classificando resistores de acordo com a potência

Teste! O que acontece quando você deixa elétrons demais passarem em um resistor ao mesmo tempo? Se você respondeu "uma queima dos diabos sem devolução do dinheiro," acertou! Sempre que os elétrons fluem por algo com resistência, eles geram calor – e quanto mais elétrons, maior o calor. Os componentes eletrônicos (como os resistores) só podem aguentar até certa quantidade de calor (quanto, exatamente, depende do tamanho e do tipo do componente) antes de derreterem. Uma vez que o calor é uma forma de energia, e a potência é uma medida da energia consumida em um período de tempo, você pode usar o valor nominal da potência de um componente eletrônico para lhe dizer quantos watts (*Watts*, abreviados pela letra W, são unidades de potência elétrica) um componente aguenta com segurança.

Todos os resistores vêm com valores nominais de potência. Os resistores-padrão comuns aguentam W ou ¼W, mas você encontrará resistores de ½W ou 1W facilmente – e alguns são até à prova de fogo. (Isso lhe deixa com medo de construir circuitos?) É claro que, você não verá o valor nominal de potência indicado no próprio resistor (ficaria fácil demais), então é preciso descobrir pelo tamanho do resistor (quanto maior o resistor, mais potência ele aguenta) ou consultar o fabricante ou a loja de componentes.

Então, como você usa o valor nominal de potência para escolher um resistor específico para o seu circuito? Você estima a potência de pico que

supõe que seu resistor aguente, e escolhe um valor nominal de potência que atenda ou exceda essa necessidade. A potência é calculada da seguinte forma:

$$P = V \times I$$

V representa a voltagem (em volts, abreviado por V) medida no resistor e I representa a corrente (em amperes, abreviado por A) fluindo pelo resistor. Por exemplo, suponha que a voltagem seja 5V, e você queira passar 25 mA (miliamperes) de corrente pelo resistor. Para calcular a potência, você multiplica 5 por 0,025 (lembre-se, miliamperes são milésimos de amperes) e obtém 0,125W, ou ¼W. Assim, você sabe que um resistor de ¼W pode servir, mas deve você ter certeza de que um resistor de ⅛W *irá* aguentar o calor sem problemas no seu circuito.

Para a maioria dos projetos de eletrônica de *hobby*, resistores de ⅛W ou ⅛W servem bem. Você precisa de resistores com muitos watts de potência para aplicações de *alta carga*, onde as cargas, como um motor ou um controle de luz, requerem correntes acima dos 'níveis de *hobby*' para operar. Resistores como esses assumem muitas formas, mas você pode apostar como eles são maiores e mais volumosos do que a média. Resistores com valor nominal de potência acima de 5 W são embalados em epóxi (ou outro revestimento à prova d'água e à prova de fogo) e têm formato retangular, em vez de cilíndrico. Um resistor com muitos watts de potência pode até incluir seu próprio *dissipador de calor* com lâminas que conduzem o calor para longe dele.

Combinando Resistores

Quando você começar a comprar resistores, verá que nem sempre pode conseguir exatamente o que quer. Isso é porque seria impraticável, para os fabricantes, fazer resistores com todos os valores possíveis de resistência. Então, eles fazem resistores com um conjunto limitado de valores, e você pode trabalhar em torno disso (como verá daqui a pouco). Por exemplo, você pode rodar por toda parte procurando um resistor de 25kΩ, mas nunca encontrará; porém, resistores de 22kΩ são a coisa mais comum! O truque é descobrir como obter a resistência da qual precisa usando os componentes disponíveis.

O fato é que você pode combinar resistores de várias formas para criar um valor de *resistência equivalente* que chegará muito, mas muito perto de qualquer resistência da qual você precise. E, uma vez que os resistores-padrão são precisos dentro de uma margem 5% a 10% de seu valor nominal, combinar resistores resolve muito bem.

Há certas "regras" para combinar resistências, as quais cobrimos nesta seção. Use-as não apenas para ajudá-lo a escolher resistores comuns de loja para os seus próprios circuitos, mas também como uma peça-chave do seu esforço de analisar os circuitos eletrônicos de outras pessoas. Por exemplo, se você sabe que uma lâmpada tem certa quantidade de resistência e coloca um resistor em série com a lâmpada para limitar a corrente, precisará saber qual é a resistência total dos dois componentes, antes de calcular a corrente que passa por eles.

Resistores em série

Quando você combina dois ou mais resistores (ou resistências) em série, você os conecta extremidade com extremidade (conforme mostra a Figura 3-6), de modo que a mesma corrente passe sequencialmente por cada resistor. Fazendo isto, você restringe a corrente com o primeiro resistor, e a restringe ainda mais com o resistor seguinte, e assim por diante. Assim, o efeito da combinação em série é um aumento da resistência geral.

Para calcular a resistência combinada (equivalente) de múltiplos resistores em série, simplesmente some os valores das resistências individuais. Você pode estender esta regra a qualquer número de resistências em série:

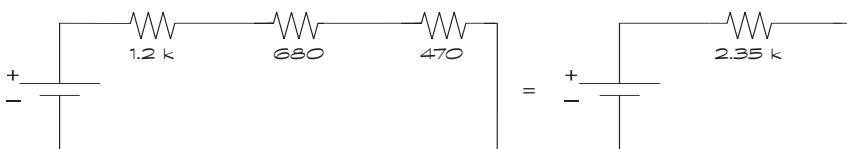
$$R_{séries} = R1 + R2 + R3 + R4 + \ldots$$

R1, R2, R3 e assim por diante representam os valores dos resistores, e $R_{série}$ representa a resistência equivalente total. Lembre-se de que a mesma corrente flui em todos os resistores conectados em série.

Você pode aplicar este conceito de resistência equivalente para ajudá-lo na escolha de resistores para uma necessidade específica de um circuito. Por exemplo, suponha que você precise de um resistor de 25kΩ, mas não encontra um resistor-padrão com esse valor. Você pode combinar dois resistores-padrão – um resistor de 22kΩ e um resistor de 3,3kΩ – em série para obter 25,3kΩ de resistência. Isto dá menos do que 2% de diferença dos 25kΩ que você procura – e dentro dos níveis típicos de tolerância dos resistores (que são 5-10%).

Tenha cuidado com suas unidades de medida ao somar os valores de resistência. Por exemplo, suponha que você conecte os seguintes resistores em série (ver Figura 3-6): 1,2kΩ, 680 Ω e 470 Ω. Antes de somar as resistências, você precisa converter os valores para as mesmas unidades – por exemplo, ohms. Neste caso, a resistência total, R_{total}, é calculada da seguinte forma:

$$R_{total} = 1{,}200\ \Omega + 680\ \Omega + 470\ \Omega = 2{,}350\ \Omega \text{ ou } 2{,}35k\Omega$$

Figura 3-6: A resistência combinada de dois ou mais resistores em série é a soma das resistências individuais.

A resistência combinada *sempre* será maior do que qualquer uma das resistências individuais. Esse fato é bem útil quando você está desenhando circuitos. Por exemplo, se você quiser limitar a corrente que entra em uma lâmpada, mas não sabe a resistência desta, pode colocar um resistor em série com a lâmpada e ter certeza do (conhecimento) de que a resistência total ao fluxo da corrente é no mínimo tão grande quanto o valor do resistor que você adicionou. Para circuitos que usam resistores variáveis (como um circuito de *dimmer* de luz), colocar um resistor fixo em série com o resistor variável garante que a corrente seja limitada, mesmo que o controle seja girado até zero Ω. Os detalhes de como calcular exatamente qual será a corrente para uma dada combinação voltagem/resistência aparecem mais adiante neste capítulo.

Resistores em paralelo

Quando você combina dois resistores em paralelo, conecta ambos os conjuntos de extremidades (ver Figura 3-7) de modo que cada resistor tenha a mesma voltagem. Fazendo isso, você fornece dois caminhos diferentes para a corrente fluir. Então, mesmo que cada resistor restrinja o fluxo da corrente através de um caminho no circuito, ainda há outro caminho que pode puxar corrente adicional. Da perspectiva da fonte de voltagem, o efeito de arranjar os resistores em paralelo é uma *diminuição* da resistência geral.

Para calcular a resistência equivalente, $R_{paralelo}$, de dois resistores em paralelo, você usa a seguinte fórmula:

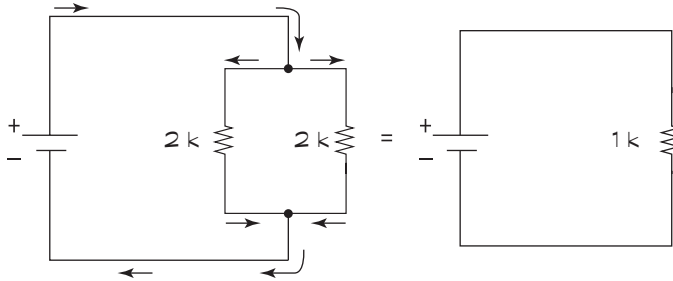
$$R_{paralelo} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Onde R1 e R2 são os valores dos resistores individuais.

No exemplo da Figura 3-7, dois resistores de 2kΩ são colocados em paralelo. A resistência equivalente é a seguinte:

$$\begin{aligned} R_{paralelo} &= \frac{2,000 \times 2,000}{2,000 + 2,000} \\ &= \frac{4,000,000}{4,000} \\ &= 1,000 \\ R_{paralelo} &= 1k\Omega \end{aligned}$$

Neste exemplo, uma vez que os dois resistores têm resistência igual, conectá-los em paralelo resulta em uma resistência equivalente à *metade do valor de qualquer delas*. O resultado é que cada resistor puxa metade da corrente de alimentação. Se dois resistores de valor desigual são colocados em paralelo, fluirá *mais* corrente no caminho com *menor* resistência do que no caminho com a resistência mais alta.

Figura 3-7: A resistência combinada de dois ou mais resistores em paralelo é sempre mais baixa do que qualquer uma das resistências individuais.

Se seu circuito precisar de um resistor com um valor nominal de potência que seja mais alto do que, digamos, 1W, e você só tiver resistores de ½W à mão, você poderá combinar dois resistores de ½W em paralelo. Apenas escolha valores de resistor que se combinem para criar a resistência do qual você precisa. Uma vez que cada um puxa metade da corrente que um só resistor puxaria, ele dissipa metade da potência (lembre-se que potência = corrente x voltagem).

Se você combinar mais do que um resistor em paralelo, a matemática fica um pouco mais complicada.

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \cdots}$$

Para múltiplas resistências em paralelo, a quantidade de corrente que flui em um dado ramo é *inversamente proporcional* à resistência dentro desse ramo. Na prática, quanto mais alta a resistência, menos corrente passa por ali; quanto mais baixa, mais corrente passa por ali. Assim como a água, a corrente elétrica prefere o caminho com menos resistência.

Como abreviação em equações eletrônicas, você pode ver o símbolo || usado para representar a fórmula de resistores em paralelo. Por exemplo:

$$R_{paralelo} = R1 \| R2 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

ou

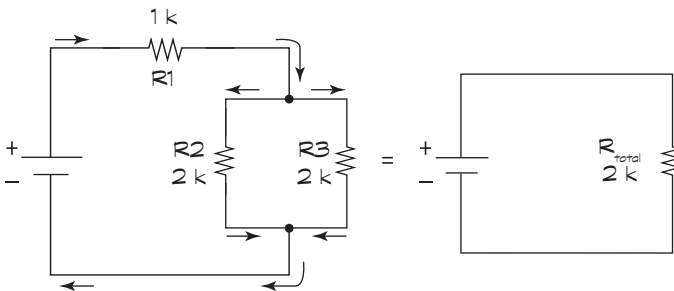
$$R_{paralelo} = R1 \| R2 \| R3 = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}}$$

Combinando resistores em série e paralelos

Muitos circuitos combinam resistores em série e resistores paralelos de várias formas para restringir a corrente em algumas peças do circuito e, ao mesmo tempo, dividir a corrente em outras peças do circuito. Em alguns casos, você pode calcular a resistência equivalente combinando as equações para resistores em série e resistores em paralelo. Por exemplo, na Figura 3-8, o resistor R2 (2kΩ) está em paralelo com o resistor R3 (2kΩ), e essa combinação em paralelo está em série com o resistor R1 (1kΩ). Você pode calcular a resistência total (em kΩ) da seguinte forma:

$$\begin{aligned} R_{total} &= R1 + \left(R2 \| R3\right) \\ &= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} \\ &= 1 + \frac{2 \times 2}{2 + 2} \\ &= 1 + 1 \\ &= 2 \\ R_{total} &= 2k\Omega \end{aligned}$$

Neste circuito, a corrente fornecida pela bateria é limitada pela resistência *total* do circuito, que é 2kΩ. A corrente de alimentação flui do terminal positivo da bateria, passa pelo resistor R1, divide-se – com metade fluindo no resistor R2 e a outra metade no R3 – e então se combina novamente para atingir o terminal negativo da bateria.

Figura 3-8: Muitos circuitos incluem uma combinação de resistências em série e em paralelo.

Os circuitos costumam ter combinações mais complexas de resistências do que simples relações em série ou paralelo, e descobrir as resistências equivalentes nem sempre é fácil. Você tem que usar cálculos matriciais para analisá-los, e, por este não ser um livro de matemática, não vamos nos desviar para explorar as complexidades dos cálculos matriciais.

Obedecendo a Lei de Ohm

Um dos conceitos mais importantes que há para entender em eletrônica é a relação entre voltagem, corrente e resistência em um circuito resumida em uma simples equação, conhecida como Lei de Ohm. Quando você entender isso profundamente, terá caminhado bem na direção de poder analisar circuitos que outras pessoas desenharam, assim como desenhar seus próprios circuitos com sucesso. Antes de mergulhar na Lei de Ohm, pode ser útil dar uma rápida olhada nas idas e vindas da corrente.

Direcionando uma corrente através de uma resistência

Se você colocar uma fonte de voltagem através de um componente que tenha uma resistência mensurável (como uma lâmpada ou um resistor), a força da voltagem empurrará os elétrons através do componente. O movimento de montes de elétrons é o que constitui a corrente elétrica. Aplicando uma voltagem maior, você exerce uma força maior sobre os elétrons, o que cria um fluxo de elétrons mais forte – uma corrente maior – passando pela resistência. Quanto maior a força (voltagem V), mais forte a corrente de elétrons (corrente I).

Isso é análogo à água fluindo em um cano de certo diâmetro. Se você exercer certa pressão sobre a água que está no cano, a corrente fluirá a um determinado valor de corrente. Se aumentar a pressão, a corrente fluirá mais rapidamente no mesmo cano, e se diminuir a pressão da água, a corrente fluirá mais lentamente pelo cano.

É constantemente proporcional!

A relação entre a voltagem (V) e a corrente (I) em um componente com uma resistência (R) foi descoberta no início do século XIX por Georg Ohm (seu nome soa familiar?). Ele descobriu que, em componentes com resistência fixa, a voltagem e a corrente variavam da mesma forma: dobrando-se a voltagem, a corrente era dobrada; cortando a voltagem pela metade, a corrente era cortada pela metade. Ele resumiu esta relação muito bem na simples equação matemática que leva seu nome: Lei de Ohm.

A *Lei de Ohm* afirma que a voltagem é igual à corrente multiplicada pela resistência, ou

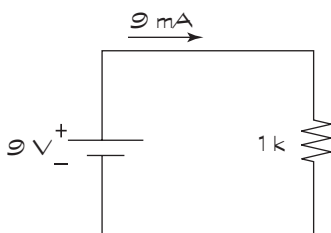
$$V = I \times R$$

O que isto realmente significa é que a voltagem (V), medida através de um componente com resistência fixa, é igual à corrente (I) que flui pelo componente, multiplicada pelo valor da resistência (R).

Por exemplo, no circuito simples da Figura 3-9, uma bateria de 9 V aplicada através de um resistor de 1kΩ produz uma corrente de 9 mA (que é 0,009 A) através do circuito:

9 V = 1,000 **Ω** × 00.0009 A

Essa pequena lei é tão importante na eletrônica que seria uma boa ideia você repeti-la várias vezes, como um mantra, até se transformar em um *nerd* obediente da Lei de Ohm! Para ajudá-lo a se lembrar, pense na Lei de Ohm como uma lei que tem que **VIR** (V=IxR) sempre.

Figura 3-9: Uma voltagem de 9V aplicada em um resistor de 1kΩ produz uma corrente de 9mA.

Ao usar a Lei de Ohm, observe cuidadosamente as unidades de medida. Certifique-se de converter os *quilo* e os *mili* antes de ligar a calculadora. Se você pensar na Lei de Ohm como *volts = amperes x ohms*, dará tudo certo. E se for corajoso, também pode usar *volts = miliamperes x quilo-ohms*, o que funciona tão bem quanto a anterior (porque os *mili* cancelam os *quilo*). Mas se você não tomar cuidado e misturar as unidades, pode ter um choque com o resultado! Por exemplo, um abajur com uma resistência de 100 Ω passa uma corrente de 50 mA. Se você se esquecer de converter miliamperes em amperes, vai multiplicar 100 por 50 e obter 5.000 V como a voltagem através do abajur. Ui! A forma correta de realizar o cálculo é converter 50 mA em 0,05A e *depois* multiplicar por 100 Ω para obter 5 V. Bem melhor!

Há uma razão para Georg Ohm ter seu nome associado aos valores de resistência, assim como à lei. A forma como um ohm, ou unidade de resistência é definido, veio do trabalho de Georg Ohm. O *ohm* é definido como a resistência entre dois pontos em um condutor quando um volt, aplicado através desses dois pontos, produz um ampere de corrente no condutor. Apenas imaginamos que você gostaria de saber disso. (Que bom que o sobrenome de Georg não era Wojciehovicz!)

Uma lei, três equações

Você se lembra da álgebra do ensino médio? Lembra-se de como você pode reordenar os termos de uma equação contendo variáveis (tais como os familiares x e y) para resolver para uma variável, contanto que saiba os valores das outras variáveis? Bem, as mesmas regras se aplicam para a Lei de Ohm. Você pode reordenar seus termos para criar mais duas equações, para um total de três equações a partir dessa lei!

$V = 1 \times R \qquad 1 = {}^{V}/_{R} \qquad R = {}^{V}/_{1}$

Essas três equações dizem a mesma coisa, mas de formas diferentes. Você pode usá-las para calcular uma quantidade quando sabe as outras duas. Qual delas você irá usar em um dado momento depende do que você vai fazer. Por exemplo:

- **Para calcular uma voltagem desconhecida**, multiplique a corrente pela resistência (V = I x R). Por exemplo, se você tem 2 mA de corrente passando por um resistor de 2kΩ, a voltagem através do resistor é 2mA × 2kΩ (ou 0,002 A × 2.000 Ω) = 4 V.
- **Para calcular uma corrente desconhecida**, divida a voltagem pela resistência (I = V/R). Por exemplo, se 9V forem aplicados através de um resistor de IkΩ, a corrente será 9 V/1000 Ω = 0,009 A ou 9mA;
- **Para calcular uma resistência conhecida**, divida a voltagem pela corrente (R = V/I). Por exemplo, se você tem 3,5 V através de um resistor desconhecido com 10 mA de corrente passando por ele, a resistência será 3,5V/0,01A = 350 Ω.

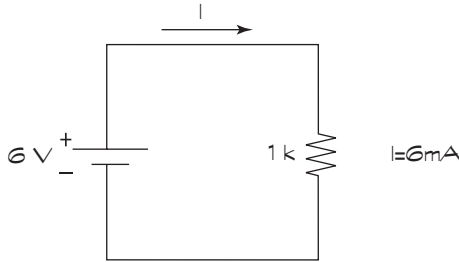
Usando a Lei de Ohm para Analisar Circuitos

Quando você tiver um bom domínio sobre a Lei de Ohm, estará pronto para colocá-la em prática. A Lei de Ohm é como uma chave mestra, destrancando os segredos dos circuitos eletrônicos. Use-a para entender o comportamento do circuito e para rastrear problemas dentro de um circuito (por exemplo, por que a luz não está acendendo, a campainha não está tocando, ou o resistor não está resistindo porque derreteu). Você também pode usá-la para desenhar circuitos e escolher os componentes certos para usar nos seus circuitos. Chegaremos a isso na próxima seção deste capítulo. Nesta seção, vamos discutir como aplicar a Lei de Ohm para analisar circuitos.

Calculando a corrente através de um componente

No circuito simples da Figura 3-10, uma bateria de 6 V é aplicada através de um resistor de 1kΩ. Você calcula a corrente através do resistor da seguinte forma:

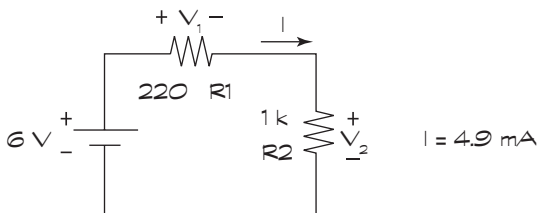
$I = {}^{6V}/_{1,000}\,\Omega = 0.0006$ A ou 6 mA

Figura 3-10: Calcular a corrente através do resistor neste circuito simples é uma aplicação direta da Lei de Ohm.

Se você adicionar um resistor de 220 Ω em série com o de 1kΩ, como mostra a Figura 3-11, estará restringindo ainda mais a corrente. Para calcular a corrente que flui através do circuito, você precisa determinar a resistência total que a bateria de 6 V está enfrentando no circuito. Uma vez que os resistores estão em série, as resistências se somam para uma resistência total equivalente de 1,22kΩ. A nova corrente é:

$$I = {}^{6V}/_{1{,}220}\,\Omega = 0.0049 \text{ A ou } 4.9 \text{ mA}$$

Somando o resistor adicional, você reduziu a corrente em seu circuito de 6mA para 4,9 mA.

Este sinal ondulado (≈) na equação significa apenas "é aproximadamente igual a", e nós o usamos porque 'arredondamos para baixo' a corrente, para o décimo de miliampere mais próximo. Normalmente não há problema em arredondar para baixo as menores partes dos valores em eletrônica – a não ser que você esteja trabalhando com a eletrônica que controla um acelerador de partículas subatômicas ou outro dispositivo industrial de alta precisão.

Figura 3-11: Calcular a corrente através deste circuito requer determinar a resistência equivalente, e depois aplicar a Lei de Ohm.

Calculando a voltagem através de um componente

No circuito da Figura 3-10, a voltagem através do resistor é simplesmente a fornecida pela bateria: 6 V. Isto é porque o resistor é o único elemento no circuito além da bateria. Adicionando um segundo resistor em série (como na Figura 3-11) modifica a situação da voltagem: agora, *parte* da voltagem da bateria sofre queda através do resistor de 1kΩ (R2) e o *restante* da voltagem da bateria sofre queda através do resistor de 220 Ω (R1).

Para descobrir quanto de voltagem é derrubado através de cada resistor, você usa a Lei de Ohm para cada resistor individual. Você sabe o valor de cada resistor e a corrente que *flui através de cada resistor*. Lembre-se que a corrente (I) é a voltagem da bateria (6 V) dividida pela resistência total (R1 + R2, ou 1.22kΩ), ou aproximadamente 4,9 mA. Agora você pode aplicar a Lei de Ohm a cada resistor para calcular sua queda de voltagem.

$$
\begin{aligned}
V1 &= I \times R1 \\
&= 0{,}0049\ A \times 220 = 1.078\ V \approx 1{,}1\ V \\
V2 &= I \times R2 \\
&= 0.0049\ A \times 1.000 = 4.9\ V
\end{aligned}
$$

Note que se você somar as quedas de voltagem através dos dois resistores, obterá 6 volts, que é o total da voltagem fornecida pela bateria. Isto não é coincidência; a bateria fornece voltagem aos dois resistores do circuito, e a voltagem de alimentação é dividida proporcionalmente entre os resistores, conforme os valores dos resistores. Esse tipo de circuito é conhecido como *divisor de tensão*.

Muitos sistemas eletrônicos usam divisores de tensão para reduzir um fornecimento de voltagem a um nível mais baixo, após o qual eles introduzem essa voltagem reduzida em uma entrada de outro componente do sistema geral que necessite de uma voltagem mais baixa.

Há uma forma mais rápida de calcular qualquer uma das "voltagens divididas" (V_1 ou V_2) da Figura 3-11. Você sabe que a corrente que passa através do circuito pode ser expressa assim:

$$I = \frac{V_{bateria}}{R1 + R2}$$

Você também sabe que:

$$V_1 = I \times R1$$

e

$$V_2 = I \times R2$$

Usando a Lei de Ohm

A Lei de Ohm é muito útil para analisar voltagem e corrente em resistores e outros componentes que se comportam como resistores, como lâmpadas. Mas você precisa ter cuidado ao aplicar a Lei de Ohm a outros componentes eletrônicos, como capacitores (tratados no Capítulo 5), que não exibem uma *resistência constante* sob todas as circunstâncias. Com tais componentes, a oposição à corrente — conhecida como *impedância* – pode e vai variar, dependendo do que se passa no circuito. Portanto, você não pode simplesmente usar um multímetro para medir a "resistência" de um capacitor, por exemplo, e tentar aplicar a Lei de Ohm de veneta. Para dar uma olhada mais de perto na impedância, verifique o Capítulo 4.

Para calcular V_1, por exemplo, você pode substituir a equação para I, mostrada acima, que obterá:

$$V_1 = \frac{V_{bateria}}{R1 + R2} \times R1$$

Você pode reordenar os termos, sem modificar a equação, para obter:

$$V_1 = \frac{R1}{R1 + R2} \times V_{bateria}$$

Da mesma forma, a equação para V_2 é:

$$V_2 = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{bateria}$$

Usando os valores de R1 e R2, e $V_{bateria}$, você obtém V_1 = 1.078V e V_2 = 4,9 V, conforme foi calculado antes.

Você verá essa equação geral sendo comumente usada para a voltagem através de um resistor (R1) em um circuito divisor de tensão.

$$V_1 = \frac{R1}{R1 + R2} \times V_{bateria}$$

Use a equação para calcular a voltagem de saída, $V_{saída}$, no circuito divisor de tensão mostrado na Figura 3-2, conforme segue abaixo:

$$V_{saída} = \frac{15,000\ \Omega}{(12,000 + 15,000)\ \Omega} \times 9\ V$$
$$= \frac{15,000}{27,000} \times 9\ V$$
$$= 5\ V$$

O circuito da Figura 3-2 divide uma alimentação de 9 V, reduzindo-a a 5 V.

Calculando uma resistência desconhecida

Digamos que você tenha uma lanterna grande e esteja usando uma bateria de 12V, e meça uma corrente de 1,3 A através do circuito (discutiremos como medir corrente no Capítulo 12). Você pode calcular a resistência da lâmpada dividindo a voltagem (12 V) pela corrente (1,3 A) através da lâmpada. É uma operaçãozinha bem rápida:

$$R_{\text{lâmpada}} = {}^{12V}/_{1.3A} = 9\ \Omega$$

Para Que Serve Realmente a Lei de Ohm?

A Lei de Ohm também é útil quando você analisa todos os tipos de circuitos, sejam eles simples ou complexos. Você a verá ao desenhar ou alterar circuitos eletrônicos para garantir a corrente e a voltagem certas nos lugares certos em seu circuito. Você usará tantas vezes a Lei de Ohm, que ela se tornará algo instintiva.

Analisando circuitos complexos

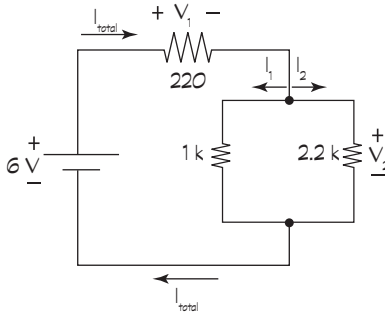
A Lei de Ohm será muito útil ao analisar circuitos mais complexos do que o circuito simples de lâmpada que discutimos antes. Muitas vezes você precisa incorporar seu conhecimento de resistências equivalentes para aplicar a Lei de Ohm e descobrir exatamente onde a corrente está fluindo e como as voltagens estão sendo consumidas em todo o seu circuito.

Por exemplo, digamos que você faça um acréscimo no circuito da Figura 3-11, colocando um resistor de 2,2kΩ em paralelo com o resistor de 1kΩ, conforme mostra a Figura 3-12. Você pode calcular a corrente que passa por cada resistor, passo a passo, da seguinte forma:

1. **Calcule a resistência equivalente do circuito.**

   Você pode encontrar este valor aplicando as regras para resistores em paralelo e resistores em série, assim:

$$R_{\text{equivalente}} = 220 + \frac{1{,}000 \times 2{,}200}{1{,}000 + 2{,}200}$$
$$\approx 220 + 688$$
$$\approx 908\ \Omega$$

Figura 3-12: Circuitos complexos podem ser analisados aplicando-se a Lei de Ohm e calculando as resistências equivalentes.

2. **Calcule a corrente total fornecida pela bateria.**

   Aqui você aplica a Lei de Ohm usando a voltagem da bateria e a resistência equivalente:

   $$I_{total} = {}^{6V}/_{908\,\Omega} \approx 0.0066 \text{ A ou } 6.6 \text{ mA}$$

3. **Calcule a queda de voltagem através dos resistores em paralelo.**

   Você pode fazer isso de duas formas:

   - *Aplique a Lei de Ohm nos resistores em paralelo*. Calcule a resistência equivalente dos dois resistores em paralelo, e depois multiplique pela corrente de alimentação. A resistência equivalente é 688 Ω, conforme mostra o primeiro passo acima. Então a voltagem será

     $$V_2 = 0.0066 \text{ A} \times 220\,\Omega \approx 4.55 \text{ V}$$

   - *Aplique a Lei de Ohm no resistor de 220 Ω, e subtraia sua voltagem da voltagem de alimentação*. A voltagem através do resistor de 220 Ω será

     $$V_1 = 0.0066 \text{ A} \times 220\,\Omega \approx 1.45 \text{ V}$$

     Então, a voltagem através dos resistores em paralelo será

     $$V_2 = V_{alimentação} - V_1 = 6 \text{ V} - 1.45 \text{ V} = 4.55 \text{ V}$$

4. **Finalmente, calcule a corrente através de cada resistor em paralelo.**

   Para obter o resultado, aplique a Lei de Ohm a cada resistor usando a voltagem que acabou de calcular (V_2). Veja como ela ficará:

   $I_1 = {}^{4.55V}/_{1{,}000\,\Omega} \approx 0.0046$ A ou 4.6 mA

   $I_2 = {}^{4.55V}/_{2{,}000\,\Omega} \approx 0.002$ A ou 2 mA

   Note que as correntes dos dois ramos, I_1 e I_2, somam-se para formar a corrente total de alimentação, I_{total}:4,6mA = 2mA = 6,6 mA. Isso é muito bom (e é uma boa forma de verificar se você fez os cálculos corretamente.)

Projetando e alterando circuitos

Você pode usar a Lei de Ohm para determinar quais componentes são necessários em um projeto de circuito. Por exemplo, você pode ter um circuito em série consistindo-se em uma alimentação de 9 V, um resistor e um LED, como mostra a Figura 3-1 no começo deste capítulo. Como você vê no Capítulo 6, a queda de voltagem através de um LED permanece constante com uma certa variação de corrente que passa através dele, mas, se você tentar passar corrente demais pelo LED, ele queimará. Digamos (por exemplo) que a voltagem do seu LED seja 2 V e que a corrente máxima que ele aguenta seja 25 mA. Que resistência você deve colocar em série com o LED para limitar a corrente e evitar que ela exceda 25 mA?

Para descobrir isso, você primeiro precisa calcular a queda de voltagem através do resistor quando o LED está aceso. Você já sabe que a voltagem de alimentação é 9 V e que o LED devora 2 V. O único outro componente no circuito é o resistor, então, você sabe que ele devorará o restante da voltagem de alimentação – todos os 7 V. Se você quer limitar a corrente para que não seja mais do que 25 mA, precisa de um resistor que seja, no mínimo, ${}^{7V}/_{0,0025A}$ = 280 Ω. Mas, como você não vai encontrar um resistor de 280 Ω, suponha que você escolha um resistor de 300 Ω. A corrente será ${}^{7V}/_{300\Omega}$ = 0,023 A ou 23mA. O LED pode brilhar um pouco menos, mas tudo bem.

A Lei de Ohm também é muito útil ao ajustar um circuito existente. Digamos que seu cônjuge esteja tentando dormir, mas você queira ler. Então você pega aquela sua lanterna enorme. A lâmpada da sua lanterna tem uma resistência de 9 Ω e é alimentada por uma bateria de 6 V, assim, você sabe que a corrente no circuito da lanterna é ${}^{6V}/_{9\Omega}$ = 0,65 A. Seu cônjuge acha que a luz está muito forte, então, para reduzir o brilho (e salvar o casamento), você pode restringir um pouco a corrente que flui na lâmpada. Você acha que reduzi-la para 0,45 A resolve, e sabe que inserir um resistor em série entre a bateria e a lâmpada restringirá a corrente. Mas qual é valor da resistência você precisa? Você pode usar a Lei de Ohm para descobrir o valor da resistência da seguinte forma:

- Usando a nova corrente desejada, calcule a queda de voltagem através da lâmpada: $V_{lâmpada}$ = 0,45 A × 9Ω ≈ 4,1 V

- Calcule a porção da voltagem de alimentação que você gostaria de aplicar através do novo resistor. Essa voltagem é a voltagem de alimentação, menos a voltagem através da lâmpada:
  $V_{resistor} = 6\ V - 4{,}1V = 1{,}9V$
- Calcule o valor do resistor necessário para criar a queda de voltagem de acordo com a nova corrente desejada. $R = {}^{1,9V}/_{0,45A} \approx 4{,}2\ \Omega$
- Finalmente, escolha um valor de resistor que seja próximo do valor calculado, e certifique-se de que ele aguenta a dissipação da potência:
  $P_{resistor} = 1{,}9\ V \times 0{,}45\ A = 0{,}9\ W$

  Resultado: Como você não encontrará um resistor de 4,2 Ω, poderá usar um resistor de 4,7Ω 1W para reduzir a claridade da lâmpada. Seu cônjuge dormirá como um bebê; agora é esperar que o ronco não interfira na sua leitura!

O Poder da Lei de Joule

Um outro cientista que trabalhou de forma árdua no século XIX foi o enérgico James Prescott Joule. Joule é responsável por criar a equação que dá os valores de potência (discutidos anteriormente neste capítulo); ela é conhecida como *Lei de Joule*:

$$P = V \times I$$

Esta equação afirma que a potência (em watts) é igual à voltagem (em volts) através de um componente multiplicado pela corrente (em amperes) que passa por aquele componente. O mais bacana dessa equação é que ela se aplica a todos os componentes eletrônicos, seja um resistor, uma lâmpada, um capacitor, ou qualquer outra coisa. Ela diz a taxa na qual a energia elétrica é consumida pelo componente – ou seja, a potência.

Usando a Lei de Joule para escolher componentes

Você já viu como usar a Lei de Joule para garantir que um resistor seja grande o suficiente para resistir ao derretimento em um circuito, mas você deve saber que essa equação também pode ser usada para selecionar outros componentes elétricos. Luminárias, diodos (conforme o Capítulo 6 discutirá), e outros componentes também vêm com um valor nominal máximo de potência. Se você espera que eles operem em níveis de potência mais altos do que seus valores nominais, vai se decepcionar ao ver que potência demais os faz pipocar e murchar. Ao escolher a peça, você deve considerar a *máxima potência possível* que a peça conseguirá aguentar no circuito. Você faz isso determinando o máximo de corrente que passará pela peça e a voltagem através da peça, em seguida multiplica essas quantidades juntas. Depois, você escolhe a peça com um valor nominal de potência que exceda ao máximo essa potência estimada.

Joule e Ohm: perfeitos juntos

Você pode soltar a criatividade e combinar a Lei de Joule com a Lei de Ohm para derivar mais equações úteis que ajudem a calcular a potência de componentes e circuitos resistivos. Por exemplo, se você substituir V por I x R na Lei de Joule, você obterá:

$$P = (I \times R) \times I = I^2R$$

Isso lhe dará uma forma de calcular a potência se você souber a corrente e a resistência, mas não a voltagem. Da mesma forma, você poderá substituir I por V/R na Lei de Joule para obter

$$P = V \times {}^{V}/_{R} = {}^{V2}/_{R}$$

Usando essa fórmula, você poderá calcular a potência se conhecer a voltagem e a resistência, mas não a corrente.

A Lei de Joule e a Lei de Ohm são tão frequentemente usadas em combinação que às vezes Georg Ohm leva o crédito pelas duas leis!

Pondo a Sua Habilidade à Prova em Circuitos com Resistores

Se você quiser sujar um pouco as mãos e experimentar alguns circuitos de resistores reais, pode dar uma olhada nos circuitos para treino no começo do Capítulo 14, na Parte III. Esses circuitos mostram a Lei de Ohm em ação – e você pode girar um potenciômetro para variar a resistência e dividir tensões. Mas antes de dar um tamanho salto, recomendamos que você leia toda a Parte II, que explica como preparar sua oficina eletrônica, manter a segurança, ler esquemas, construir circuitos e medir tudo que estiver por perto.

Capítulo 4

Emocionando-se com a Carga dos Capacitores

Neste Capítulo:

- Armazenando energia elétrica em capacitores
- Carregando e descarregando capacitores
- Dizendo "não" à DC e "sim" à AC
- Vendo como os capacitores reagem a diferentes frequências
- Usando a Lei de Ohm (com cuidado!) em circuitos capacitivos
- Criando uma dupla dinâmica: capacitores e resistores
- Explorando os capacitores para bloquear, filtrar, atenuar e retardar sinais

Se os resistores são o componente eletrônico mais popular, os capacitores vêm logo atrás. Peritos em armazenar energia elétrica, os capacitores são contribuintes importantes para todo tipo de circuitos elétricos – e a sua vida seria bem mais desinteressante sem eles.

Os capacitores tornam possível mudar a forma (o padrão ao longo do tempo) dos sinais elétricos carregados pela corrente – uma tarefa que os resistores sozinhos não podem realizar. Embora eles não sejam tão simples de entender como os resistores, os capacitores são ingredientes essenciais em muitos dos sistemas eletrônicos e industriais dos quais você desfruta hoje, como os radiorreceptores, dispositivos de memória de computador e sistemas de uso de *airbag* em automóveis, de modo que vale a pena investir seu tempo e sua capacidade mental para entender como os capacitores operam.

Este capítulo fala do que os capacitores são feitos, como eles armazenam energia elétrica, e como os circuitos usam essa energia. Você poderá ver um capacitor carregando-se e, depois, liberando sua energia, e observará como ele reage a sinais de diferentes frequências. Depois, descrevemos como usar a Lei de Ohm para analisar circuitos capacitivos e mostramos como os capacitores funcionam juntamente com os resistores para desempenhar funções úteis. Finalmente, demonstramos vários usos dos capacitores em circuitos eletrônicos – provando, sem sombra de dúvida, que vale a pena se empolgar com eles.

Capacitores: Reservatórios de Energia Elétrica

Quando você está com sede, geralmente você pode conseguir algo para beber de duas maneiras: pegando água que vem de uma fonte e flui através de canos quando você abre a torneira, ou pegando água de um recipiente para armazenamento, como um bebedouro. Você pode pensar em energia elétrica de um jeito similar. Pode obter energia elétrica diretamente de uma fonte (como uma bateria ou gerador), ou pode obtê-la de um aparelho que armazene energia elétrica: um capacitor.

Assim como você enche o bebedouro conectando-o a uma fonte de água, você enche um capacitor com energia elétrica fazendo a conexão com uma fonte de energia elétrica. E assim como a água armazenada continua mesmo após a fonte ter sido removida, a energia elétrica armazenada em um capacitor continua, mesmo após a fonte ter sido removida. Em cada caso, a coisa (água ou energia elétrica) armazenada no aparelho permanece ali até que algo venha e faça uso dela – seja um consumidor sedento ou um componente elétrico necessitando de energia.

Um *capacitor* é um componente eletrônico passivo que armazena energia elétrica transferida de uma fonte de voltagem (ver Figura 4-1). Se você remover a fonte de voltagem e isolar eletricamente o capacitor (de forma que ele não esteja conectado a um circuito completo), ele segura a energia armazenada. Se você conectá-lo a outros componentes em um circuito completo, ele irá fornecer alguma ou toda a energia armazenada. Um capacitor é feito de duas placas de metal separadas por um isolante, que é conhecido como um *dielétrico*.

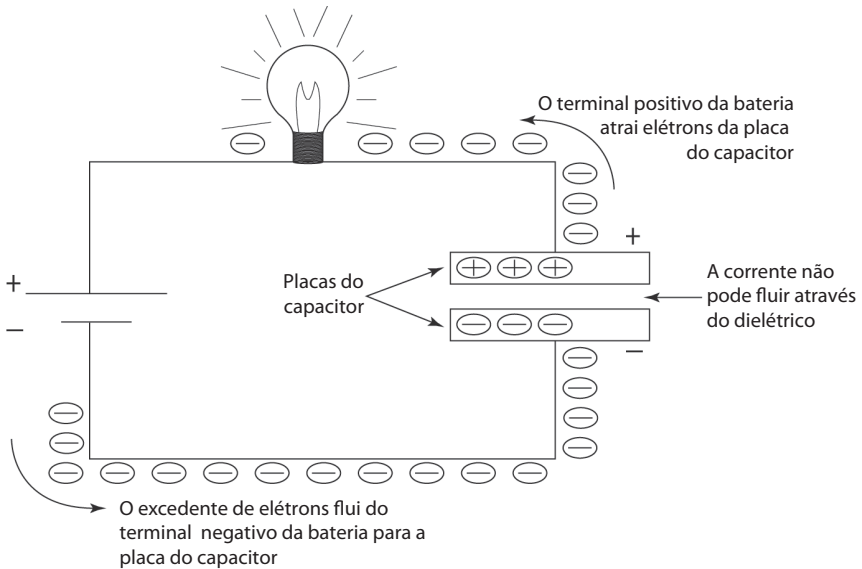
Capacitores e baterias: qual é a diferença ?

Ambos, capacitores e baterias, armazenam energia elétrica, mas de formas diferentes. Conforme discutimos no Capítulo 2, uma bateria usa reações eletroquímicas para produzir partículas carregadas que se acumulam em dois terminais metálicos, criando uma voltagem. Um capacitor não produz partículas carregadas, mas ele permite que partículas carregadas acumulem-se em suas placas, criando voltagem entre elas. (ver "Carregando e descarregando capacitores".) A energia elétrica de uma bateria é o resultado de um processo de conversão de energia originado dos produtos químicos armazenados dentro da bateria, enquanto a energia elétrica de um capacitor é fornecida por uma fonte externa a ele.

Figura 4-1: Dois símbolos de circuitos usados para capacitores.

Carregando e Descarregando Capacitores

Se você fornece alimentação DC a um circuito contendo um capacitor em série com uma lâmpada (como mostra a Figura 4-2), o fluxo da corrente não pode ser sustentado porque não há um caminho condutivo completo entre as placas. Porém, os elétrons se movem por este pequeno circuito – temporariamente – de forma interessante.

Figura 4-2: Quando uma bateria é colocada em um circuito com um capacitor, este se carrega. Um capacitor carregado armazena energia elétrica, de forma semelhante a uma bateria.

Lembre-se que o terminal negativo de uma bateria tem um excedente de elétrons. Então, no circuito mostrado na Figura 4-2, o excedente de elétrons começa a se afastar da bateria em direção a um lado do capacitor. Ao atingir o capacitor, eles são brecados, pois não há caminho condutivo através do capacitor. O resultado é o excesso de elétrons nessa placa.

Ao mesmo tempo, o terminal positivo da bateria atrai elétrons da outra placa do capacitor, assim, *eles* começam a se mover. Ao passarem pela lâmpada, eles a acendem (mas apenas por uma fração de segundos, o que explicaremos no próximo parágrafo). Isto produz uma carga líquida positiva (devido à deficiência de elétrons) nessa placa. Com uma carga líquida negativa em uma placa, e uma positiva na outra placa, o resultado é uma diferença de voltagem através das duas placas. Essa diferença de voltagem representa a energia elétrica armazenada no capacitor.

A bateria mantém-se empurrando os elétrons em direção a uma placa (e puxando os elétrons da outra placa) até que a queda de voltagem, através dos capacitores, seja igual à voltagem da bateria. Nesse ponto de equilíbrio, não há diferencial de voltagem entre a bateria e o capacitor, logo, não haverá empurrão para que os elétrons fluam da bateria ao capacitor. O capacitor para de se carregar, e os elétrons param de se mover no circuito – a luz da lâmpada se apaga.

Quando a queda de voltagem através das placas é igual à voltagem da bateria, diz-se que o capacitor está *totalmente carregado* (na verdade, são as *placas* do capacitor que estão carregadas; o capacitor como um todo não tem carga líquida). Mesmo que a bateria permaneça conectada, o capacitor não se carregará mais, pois não haverá diferencial de voltagem entre a bateria e o capacitor. Se você remover a bateria do circuito, a corrente não fluirá e a carga continuará nas placas do capacitor. O capacitor parece uma fonte de voltagem, já que ele segura a carga, armazenando energia elétrica.

Quanto maior a voltagem da bateria que você aplica ao capacitor, maior a carga que se acumula em cada placa, e maior a queda de voltagem através do capacitor – até certo ponto. Os capacitores têm limitações físicas: há um máximo que eles aguentam antes que o dielétrico entre as placas seja superado pela quantidade de energia elétrica no capacitor, e ele comece a deixar escapar elétrons resultando em uma centelha de corrente através das placas. Você pode ler mais sobre isso em "Ficando de olho na voltagem de trabalho", mais adiante neste capítulo.

Se você substituir a bateria por um simples fio, fornecerá um caminho através da lâmpada para que os elétrons excedentes de uma placa sigam para a outra (deficiente em elétrons). As placas do capacitor *descarregam-se* através da lâmpada, acendendo-a de novo, rapidamente – mesmo sem uma bateria no circuito – até que a carga nas duas placas seja neutralizada. A energia elétrica que havia sido armazenada no capacitor é consumida pela lâmpada. Quando o capacitor é descarregado (novamente, na verdade, são as *placas* que descarregam), não fluirá mais corrente.

Um capacitor pode armazenar energia elétrica por horas. É uma boa ideia você se certificar de que o capacitor esteja descarregado antes de manipulá-lo, para que ele não descarregue através de você. Para descarregar um capacitor, coloque uma lâmpada, com cuidado, através de seus terminais, usando garras-jacaré isolantes (discutidas no Capítulo 9) para fazer a conexão. Se a lâmpada acender, você sabe que o capacitor ainda está carregado, e a luz deve enfraquecer-se e apagar em alguns segundos, à medida que o capacitor se descarrega. Se não tiver uma lâmpada à mão, coloque um resistor de 10kΩ 1 W através dos terminais e espere por, no mínimo, 30 segundos.

Opondo-se às mudanças de voltagem

Uma vez que se leva muito tempo para as cargas se acumularem nas placas do capacitor quando uma corrente DC é aplicada, e, também, para a carga deixar as placas quando a voltagem DC é removida, diz-se que os capacitores "se opõem à mudança de voltagem". Isso apenas significa que, se você mudar repentinamente a voltagem aplicada a um capacitor, ele não conseguirá reagir imediatamente; a voltagem através do capacitor mudará mais lentamente do que a voltagem que você aplicou.

Pense como se estivesse no seu carro, parado em um sinal vermelho. Quando o sinal fica verde, você põe o carro em movimento novamente, acumulando velocidade até atingir o limite. Leva-se algum tempo para chegar a essa velocidade, assim como também para um capacitor chegar a um certo nível de voltagem. Isso é bem diferente do que acontece com um resistor. Se você ligar uma bateria através de um resistor, a voltagem através dele mudará quase que instantaneamente.

Leva-se algum tempo para a voltagem do capacitor "alcançar" a voltagem da fonte. Isso não é ruim; na verdade, muitos circuitos usam capacitores exclusivamente pelo fato de que é preciso tempo para eles se carregarem. Essa é a base da razão pela qual os capacitores podem mudar a forma (padrão) de sinais elétricos.

Dando passagem à corrente alternada

Embora os capacitores não possam passar corrente contínua (DC) (exceto muito brevemente, como você viu na seção anterior) por causa do dielétrico que fornece uma barreira ao fluxo de elétrons, eles podem passar corrente alternada (AC).

Suponha que você aplique uma fonte de voltagem AC através de um capacitor. Lembre-se que a fonte de voltagem AC varia para cima e para baixo, elevando-se de 0 (zero) volts até sua voltagem de pico, depois caindo de volta a 0 volt, e descendo à sua voltagem de pico negativo, depois se elevando novamente para cruzar 0 volt até sua voltagem de pico, e assim por diante. Imagine ser um átomo em uma das placas do capacitor e olhar para o terminal da fonte mais próxima. Você notará que, às vezes, sente uma força puxando seus elétrons para longe, e outras vezes uma força empurrando mais elétrons em sua direção. Em cada caso, a intensidade da força varia ao longo do tempo. Você e os outros átomos da placa do capacitor se alternarão entre doar elétrons e receber elétrons, conforme a fonte de voltagem varia para cima e para baixo.

O que realmente acontece é que, conforme a fonte de voltagem se eleva de 0 à sua voltagem de pico, o capacitor se carrega, assim como acontece quando você aplica uma voltagem DC. Quando a voltagem fornecida está no pico, o capacitor pode estar ou não totalmente carregado (depende de uma série de fatores, como, por exemplo, o tamanho das placas do capacitor). Então, a voltagem da fonte começa a diminuir de seu pico para 0 volts. Ao diminuir, esta torna-se mais baixa do que a voltagem do capacitor. Quando isso acontece, o capacitor começa a se descarregar através da fonte AC. Então, a voltagem da fonte inverte a polaridade e o capacitor se descarrega até o fim. À

medida que a voltagem da fonte continue descendo rumo à voltagem de pico negativo, as cargas começam a se acumular *inversamente* nas placas do capacitor: a placa que, anteriormente, continha mais cargas negativas agora contém cargas positivas, e a que, anteriormente, continha mais cargas positivas, agora contém mais cargas negativas. À medida que a voltagem da fonte se eleva de seu pico negativo, o capacitor descarrega-se de novo através da fonte AC, mas na direção oposta à de sua descarga original, e o ciclo se repete. Este ciclo contínuo de carga/descarga pode ocorrer milhares – até milhões – de vezes por segundo, enquanto o capacitor tenta "acompanhar", por assim dizer, o sobe-desce da fonte AC.

Uma vez dito que a fonte AC está constantemente mudando de direção, sabe-se que o capacitor passa por um ciclo contínuo de carga, descarga e recarga. Como resultado, as cargas elétricas movem–se para frente e para trás no circuito, e mesmo que praticamente nenhuma corrente flua através do dielétrico (exceto uma pequena *corrente de vazamento*), o efeito é igual ao que seria se a corrente fluísse pelo capacitor. Então, diz-se que esses fantásticos capacitores "passam" corrente alternada (AC) apesar de bloquear a corrente contínua (DC).

Se você adicionar uma lâmpada ao seu capacitor alimentado por uma fonte de voltagem AC, a lâmpada acenderá e *ficará acesa* enquanto a fonte AC estiver conectada. A corrente alterna sua direção através da lâmpada, mas a lâmpada não se importa com a direção que a corrente segue através dela. O mesmo não vale para um LED, que se importa muito com a direção em que a corrente flui. Embora nenhuma corrente chegue a passar *através* do capacitor, a ação de carregar/descarregar do capacitor cria o efeito de corrente fluindo para frente e para trás no circuito.

Para Que São Usados os Capacitores?

Os capacitores são aproveitados na maioria dos circuitos eletrônicos que você encontra todos os dias. As principais propriedades dos capacitores – como armazenar energia elétrica, bloquear a corrente DC, e oposição variada à corrente, dependendo da frequência aplicada – são comumente exploradas pelos projetistas de circuitos para preparar o terreno para funcionalidades extremamente úteis em circuitos eletrônicos. Veja algumas das formas como os capacitores são usados em circuitos:

- **Armazenar energia elétrica**: Muitos dispositivos usam capacitores para armazenar energia temporariamente para uso posterior. Fontes de alimentação ininterrupta (também conhecidas como *no-breaks* ou UPSs — do inglês *uninterruptible power supply*) e despertadores mantêm capacitores carregados à disposição para o caso de falta de energia. A energia armazenada no capacitor é liberada no momento em que o circuito em carregamento é desconectado (o que ocorre quando acaba a luz!). Câmeras fotográficas usam capacitores para o armazenamento temporário da energia usada para gerar o *flash*, e muitos dispositivos eletrônicos usam capacitores para fornecer energia enquanto as pilhas são trocadas. Sistemas de som automotivos usam comumente capacitores para fornecer energia quando o amplificador precisa de mais do que o sistema elétrico do

carro pode fornecer. Sem um capacitor no sistema, toda vez que você ouve um baixo muito grave, os faróis ficam mais fracos!

- **Evitar que a corrente DC passe entre estágios do circuito**: Quando conectados em série com uma fonte de sinal (como um microfone), os capacitores bloqueiam a corrente DC, mas passam a corrente AC. Isso é conhecido como *acoplamento capacitivo* ou *acoplamento AC*, e quando usado desta forma, o capacitor é conhecido como *capacitor de acoplamento*. Sistemas de áudio de múltiplos estágios usam comumente essa funcionalidade entre os estágios para que apenas a porção AC do sinal de áudio – a parte que transporta a informação sonora codificada – de um estágio seja passada para o estágio seguinte. Qualquer corrente DC usada para alimentar componentes em um estágio anterior é removida antes do sinal ser amplificado.
- **Suavizar a voltagem**: Fontes de alimentação que convertem AC em DC geralmente se aproveitam do fato de que os capacitores não reagem rapidamente às mudanças repentinas de voltagem. Esses dispositivos usam grandes capacitores eletrolíticos para suavizar fontes DC variáveis. Esses *capacitores de suavização* mantêm a voltagem de saída em um nível relativamente constante, descarregando quando a alimentação DC cai abaixo de um certo nível. Este é um clássico exemplo do uso de um capacitor para armazenar energia até que você precise: quando a alimentação DC não pode manter a voltagem, o capacitor doa parte de sua energia para compensar a deficiência.
- **Criar *timers***: Por levar tempo para carregar e descarregar, os capacitores são geralmente usados em circuitos de temporização para criar "tiques" e "taques" quando a voltagem se eleva ou cai a um certo nível. O tempo do tique-taque pode ser controlado pela seleção do capacitor e outros componentes do circuito. Para detalhes, veja a seção chamada "Trabalhando em Equipe com os Resistores."
- **Sintonizar (ou dessintonizar) frequências**: Os capacitores são frequentemente usados para ajudar a escolher ou rejeitar certos sinais elétricos, dependendo da sua frequência. Por exemplo, um circuito de sintonia em um sistema radiorreceptor depende de capacitores e outros componentes para permitir que o sinal de uma só emissora passe de uma só vez para o estágio do amplificador enquanto os sinais de todas as outras emissoras são bloqueados. Uma frequência de transmissão é designada para cada emissora, e a função do fabricante de rádios é criar circuitos para "sintonizar" as frequências-alvo. Uma vez que os capacitores se comportam de forma diferente para frequências de sinais diferentes, eles são um componente-chave nesses circuitos de sintonia. O efeito líquido é uma espécie de filtragem eletrônica. Para saber mais sobre filtros eletrônicos simples, veja a seção chamada "Selecionando Frequências com Filtros RC Simples."

Caracterizando Capacitores

Há muitas formas de se construir capacitores usando diferentes materiais para as placas e dielétricos, e variando o tamanho das placas. A composição particular de um capacitor determina suas características e influencia seu comportamento em um circuito.

Quanta carga uma placa de capacitor pode Armazenar?

Capacitância é a habilidade que um corpo tem de armazenar carga elétrica. O mesmo termo – capacitância – é usado para descrever quanta carga um capacitor pode armazenar em quaisquer de suas placas. Quanto mais alta a capacitância, mais carga o capacitor pode armazenar a qualquer momento.

A capacitância de um dado capacitor depende de três coisas: da área de superfície das placas de metal, da espessura do dielétrico entre as placas e do tipo de dielétrico usado (mais informações sobre dielétricos, mais adiante nesta seção).

Você não precisa saber como calcular a capacitância (e, sim, há uma fórmula de dar medo) porque qualquer capacitor que valha a pena virá com um valor nominal de capacitância documentado. Isso ajuda a entender que a quantidade de carga que a placa de um capacitor pode conter, depende de como ele é feito.

A capacitância é medida em unidades chamadas *farads*. Um farad (abreviado por F) é definido como a capacitância necessária para fazer com que um ampere de corrente flua quando a voltagem muda a uma taxa de um volt por segundo. Não se preocupe com os detalhes da definição; apenas saiba que um farad é uma quantidade muito, muito grande de capacitância. É mais provável que você encontre capacitores com valores de capacitância muito menores – pairando em gradações de microfarads (μF) ou picofarads (pF). Um microfarad é um milionésimo de um farad, ou 0,000001 farad, e um picofarad é o milionésimo de um milionésimo de um farad, ou 0,000000000001 farad.

Veja alguns exemplos:

- Um capacitor de 10 μF é 10 milionésimos de um farad.
- Um capacitor de 1μF é 1 milionésimo de um farad.
- Um capacitor de 100 pF é 100 milionésimos de um milionésimo de um farad, ou, você poderia dizer, 100 milionésimos de um microfarad. Uau!

Você encontrará capacitores maiores (1F ou mais) usados para armazenamento de energia de sistema, enquanto capacitores menores são usados para uma série de aplicações, como mostra a Tabela 4-1.

A maioria dos capacitores é sujeitinho bem inexato. Sua capacitância pode variar bastante em relação ao valor nominal de capacitância. Esse problema é causado por variações de fabricação; os fabricantes de capacitores não fazem isso só para confundir você. Felizmente, raramente a inexatidão é um problema em circuitos caseiros. Ainda assim, você precisa saber sobre essas variações para que, se um circuito precisar de um capacitor de maior precisão, saiba o que comprar. Assim como os resistores, os capacitores são rotulados conforme a tolerância, que é expressa em porcentagem.

Grande capacitor em um espaçozinho de nada

Fazer capacitores em escala de farads só se tornou possível recentemente. Usando técnicas de construção mais antigas, um capacitor de um farad seria maior do que uma lancheira, e bem desajeitado.

Usando outras tecnologias e materiais, como grânulos de carbono microscopicamente pequenos, hoje os fabricantes podem construir capacitores de um farad ou mais, que cabem na palma da mão. Memórias de computador, radiorrelógios e outros dispositivos elétricos que precisam reter uma pequena carga por períodos extensos de tempo, quando não têm acesso à energia, usam comumente capacitores como baterias substitutas.

Ficando de olho na voltagem de trabalho

A *voltagem de trabalho* (*working voltage*), às vezes abreviada como *WV*, é a voltagem mais alta que o fabricante recomenda colocar através de um capacitor com segurança. Se você exceder a voltagem de trabalho, pode danificar o dielétrico, o que resultará em centelhas de corrente saltando entre as placas, como relâmpagos em uma tempestade. Isso significa que você pode dar curto-circuito no seu capacitor e permitir o fluxo de todo tipo de corrente indesejada – e talvez até danificar componentes próximos.

Os capacitores criados para circuitos DC são geralmente rotulados com uma WV de não mais do que 16 V a 35 V. Se você construir circuitos que usem voltagens maiores, certifique-se de selecionar um capacitor com uma WV de, no mínimo, 10% a 15% a mais do que a voltagem fornecida no seu circuito, só para se precaver.

Escolhendo o tipo certo (de dielétrico) para o trabalho

Os projetistas de circuitos eletrônicos especificam capacitores para projetos conforme o material que há neles. Alguns materiais são melhores em certas aplicações, e são inadequados em outras. Por exemplo, capacitores de cerâmica têm um desempenho confiável somente para frequências de sinal de menos de 100.000 hertz, enquanto capacitores de mica exibem características excepcionais de frequência e costumam ser usados em circuitos de temporização e filtragem de precisão.

Os materiais dielétricos mais comuns são de alumínio eletrolítico, tântalo eletrolítico, cerâmica, mica, polipropileno, poliéster (ou Mylar) e poliestireno. Se um diagrama de circuito precisar de um um certo tipo de capacitor, certifique-se de conseguir um que seja adequado.

A Tabela 4-1 lista os tipos de capacitores mais comuns, sua variação típica de valores e suas aplicações.

Tabela 4-1 Características dos capacitores

Tipo	*Variação típica*	*Aplicação*
Cerâmica	1 pF a 2,2 μF	Filtragem, bypass
Mica	1 pF a 1 μF	Temporização, oscilador, circuitos de precisão
Folha metálica	até 100 μF	Bloqueio DC, suprimento de energia, filtragem
Poliéster (Mylar)	0,001 pF a 100 μF	Acoplamento, bypass
Polipropileno	100 pF a 50 μF	Fonte chaveada
Poliestireno	10 pF a 10 μF	Temporização, circuitos de sintonização
Tântalo (eletrolítico)	0,001 a 1.000 μF	Bypass, acoplamento, bloqueio DC
Alumínio eletrolítico	10 pF a 220.000 μF	Filtragem, acoplamento, bypass, suavização

Reconhecendo encapsulamentos de capacitores

Os capacitores estão disponíveis em várias formas e tamanhos, como mostra a Figura 4-3. Capacitores de alumínio eletrolítico e papel geralmente têm forma cilíndrica. Capacitores de tântalo, cerâmica, mica e poliestireno têm uma forma mais arredondada porque costumam ser mergulhados num banho de epóxi ou plástico para formar sua pele exterior. Porém, nem todos os capacitores de algum tipo específico (como o de mica ou de Mylar) são fabricados da mesma forma; então, você nem sempre pode julgar um componente pela capa.

Seu fornecedor de componentes preferido pode rotular os capacitores de acordo com a forma como os terminais estão dispostos: axial ou radial. Os terminais axiais partem dos dois lados de um capacitor de formato cilíndrico ao longo de seu eixo; os radiais partem de um lado do capacitor e são paralelos um ao outro (até que você os entorte para usá-lo no circuito).

Se você sair à procura de capacitores dentro de seu computador pessoal (PC), pode não reconhecer alguns deles quando os vir. Isso é porque muitos dos capacitores do seu PC não têm nenhum terminal! As chamadas cápsulas de montagem superficial dos capacitores são extremamente pequenas e foram projetadas para ser soldadas diretamente em placas de circuito impresso (PCIs) como as do seu PC. Desde os anos 80, os processos de fabricação em grande escala vêm usando tecnologia de montagem superficial (SMT) para conectar capacitores e outros componentes diretamente às superfícies das PCIs, economizando espaço e melhorando o desempenho do circuito.

Um olhar positivo sobre a polaridade do capacitor

Alguns capacitores eletrolíticos de maior valor nominal (1µF ou mais) são *polarizados* – significando que o terminal positivo deve ser mantido em uma voltagem maior do que o terminal negativo; portanto, importa saber de que lado você insere o capacitor no seu circuito. Os capacitores polarizados são projetados para uso em circuitos DC.

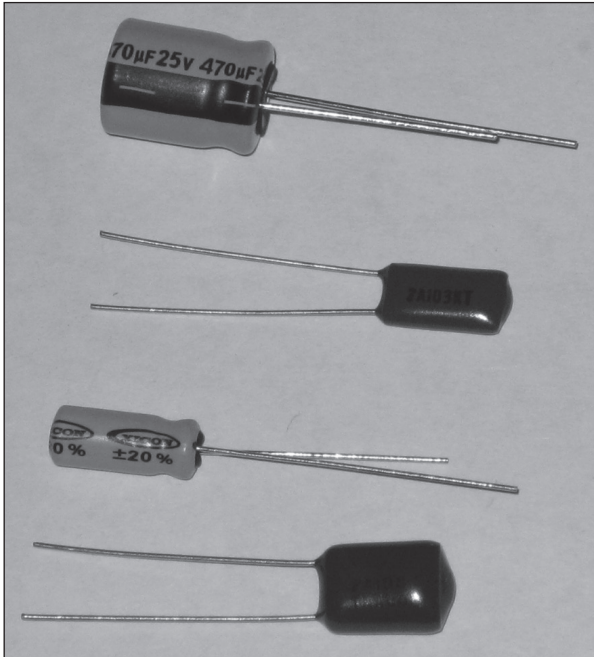
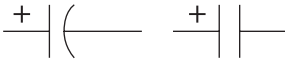



Figura 4-3: Os capacitores estão disponíveis em várias formas e tamanhos, e podem ser polarizados ou não.

Muitos capacitores polarizados exibem um sinal de menos (-) ou uma grande flecha apontando o terminal negativo. Em capacitores radiais, o terminal negativo é geralmente mais curto do que o positivo.

Só porque as cápsulas dos capacitores geralmente apontam o terminal negativo, isso não significa que os diagramas de circuito sigam a mesma convenção. Geralmente, se há um capacitor polarizado em um circuito, você vê um sinal de mais (+) na lateral ao lado do símbolo de capacitor, como na Figura 4-4, mostrando como orientar o capacitor no circuito.

Se um capacitor é polarizado, você *realmente* precisa se certificar de instalá-lo no circuito na posição adequada. Se você inverter os terminais, digamos, conectando o sinal de + à trilha de terra no seu circuito, poderá causar um colapso no dielétrico dentro do capacitor, o que efetivamente provocará um curto-circuito no capacitor. Isso pode danificar outros componentes do seu circuito (ao enviar corrente demais a eles), e o seu capacitor pode até explodir.

Figura 4-4: Símbolos de capacitores polarizados.

Interpretando os valores dos capacitores

Alguns capacitores têm seus valores impressos diretamente neles, seja em farads ou porções de farad. Você costuma ver isso em capacitores maiores, pois há superfície suficiente para imprimir a capacitância e a voltagem de trabalho.

A maioria dos capacitores menores (tais como de disco de mica de 0,01µF ou de 0,1µF) usa sistemas de indicação de três dígitos para indicar a capacitância. A maioria das pessoas acha o sistema de numeração fácil de usar. Mas há uma pegadinha! Há sempre uma pegadinha. O sistema é baseado em picofarads, e não em microfarads. Um número que usa este sistema de indicação, como o 103, por exemplo, significa 10 seguido por três zeros, ou seja, 10.000 picofarads. Alguns capacitores têm um número de dois dígitos impresso, que é simplesmente o valor em picofarads. Por exemplo, um valor de 22 significa 22 picofarads. Não há terceiro dígito indicando zeros adicionados ao final.

Em valores acima de 1.000 picofarads, o seu fornecedor de peças provavelmente listará o capacitor em microfarads, mesmo que suas indicações estejam como picofarads. Para converter o valor de picofarads que se lê no capacitor em micofarads, é só mover a vírgula decimal seis casas para a esquerda. Assim, um capacitor indicando 103 (digamos, o exemplo do parágrafo anterior) tem um valor de 10.000 pF ou 0,01µF.

Suponha que você esteja construindo um circuito que exige um capacitor de disco de 0,1µF. Você pode converter microfarads em picofarads para descobrir qual indicação deve procurar no encapsulamento do capacitor. É só mover a vírgula decimal seis casas para a direita, e obterá 100.000 pF. Uma vez que a indicação de três dígitos consiste dos dois primeiros dígitos para o seu valor em pF (10) seguido do número adicional de zeros (4), você precisará de um capacitor de disco de mica com a indicação “104.”

Você poderá usar a Tabela 4-2 como guia de referência para indicações comuns de capacitores que utilizam esse sistema de numeração.

Tabela 4-2 Valor de referência do capacitor

Indicação	*Valor*
nn (um número de 01 a 99	nn pF
101	100 pF
102	0,001µF

Indicação	*Valor*
103	0,01 µF
104	0,1 µF
221	220 pF
222	0,0022 µF
223	0,022 µF
224	0,22 µF
331	330 pF
332	0,0033 µF
333	0,033 µF
334	0,33 µF
471	470 pF
472	0,0047 µF
473	0,047 µF
474	0,047 µF

Um outro sistema de numeração, menos usado, é o de números e letras, assim: 4R1.

A colocação da letra R diz a posição da vírgula decimal: 4R1 é, na verdade, 4,1. Esse sistema de numeração, porém, não indica a unidade de medida, que pode ser microfarad ou picofarad.

Você pode testar a capacitância com um medidor de capacitor ou um multímetro com entrada para capacitância. A maioria dos medidores requer que você insira o capacitor diretamente no instrumento, já que a capacitância pode aumentar com terminais mais longos. Isso torna a medição menos precisa.

Em muitos capacitores, um código de uma letra indica a tolerância. Você pode encontrar essa letra posicionada sozinha no corpo do capacitor, ou após o indicador de três dígitos, assim: 103Z.

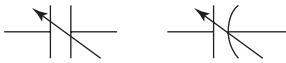
Aqui, a letra Z denota uma tolerância de +80% ou -20%. Essa tolerância significa que o capacitor, indicado como sendo de 0,01 µF, pode ter um valor real que chegue a ser 80% mais alto – ou 20% mais baixo – do que o valor indicado. A Tabela 4-3 lista os significados dos códigos de letra comuns usados para indicar a tolerância do capacitor. Note que as letras B, C e D representam tolerâncias expressas em valores absolutos de capacitância, em vez de porcentagens. Essas indicações são usadas apenas em capacitores muito pequenos (na faixa dos pF).

Tabela 4-3 Indicações de Tolerância de Capacitor

Código	*Tolerância*
B	±0,1 pF
C	±0,25 F
D	±0,5 pF
F	±1%
G	±2%
J	±5%
K	±10%
M	±20%
P	+100%, -0%
Z	+80%, -20%

Capacitância variável

Capacitores variáveis permitem que você ajuste a capacitância para adequá-la às necessidades do seu circuito. Os símbolos de um capacitor variável são mostrados na Figura 4-5.

Figura 4-5: Símbolos que representam capacitores variáveis.

O tipo mais comum de capacitores variáveis é o capacitor com *dielétrico de ar*, encontrado frequentemente em controles de sintonia de rádios AM. Geralmente capacitores variáveis menores são usados em radiorreceptores e transmissores, e funcionam em circuitos que usam cristais de quartzo para fornecer um sinal de referência preciso. O valor de tais capacitores variáveis fica, tipicamente, na faixa de 5 pF a 500 pF.

Capacitores variáveis controlados mecanicamente funcionam pela modificação da distância entre as placas do capacitor, ou pela mudança da quantidade de sobreposição entre as superfícies das duas placas. Um *diodo* (dispositivo semicondutor discutido no Capítulo 6) criado especialmente pode funcionar como um capacitor variável controlado eletronicamente; tais dispositivos são conhecidos como *varactores* ou *varicaps* – e você pode mudar sua capacitância, ao modificar a voltagem DC que aplica a eles.

É provável que você interaja mais com capacitores variáveis do que com seu cônjuge. Capacitores variáveis são o que está por trás de muitos dispositivos sensíveis ao toque, como o teclado do computador, painéis de controle de muitos aparelhos eletrodomésticos, elevadores, e os botões do seu controle remoto favorito. Um tipo de microfone usa um capacitor variável para converter o som em sinais elétricos, com seu diafragma atuando como uma placa móvel do capacitor. As flutuações sonoras fazem o diafragma vibrar, o que varia a capacitância, produzindo flutuações de voltagem. Esse dispositivo é conhecido como microfone condensador, assim chamado porque os capacitores costumavam ser denominados condensadores.

Combinando Capacitores

Se quiser analisar múltiplos capacitores em um circuito, você poderá combiná-los para obter a capacitância equivalente. Mas, como você verá, as regras para combinar capacitores são diferentes das que combinam resistores.

Capacitores em paralelo

A Figura 4-6 mostra dois capacitores em paralelo com os pontos de conexão comuns indicados como A e B. Note que o ponto A está conectado a uma placa do capacitor C1 e a uma placa do capacitor C2. Eletricamente falando, o ponto A está conectado a uma placa de metal que é do tamanho de duas placas combinadas. O mesmo vale para o ponto B, que está conectado à outra placa do capacitor C1 e à do capacitor C2. Quanto maior a área de superfície da placa de um capacitor, maior a capacitância.

Capacitores em paralelo são somados: Cada placa de metal de um capacitor está atada eletricamente a uma placa de metal do capacitor em paralelo. Cada par de placas se comporta como uma única placa maior com uma capacitância mais alta, como mostra a Figura 4-6.

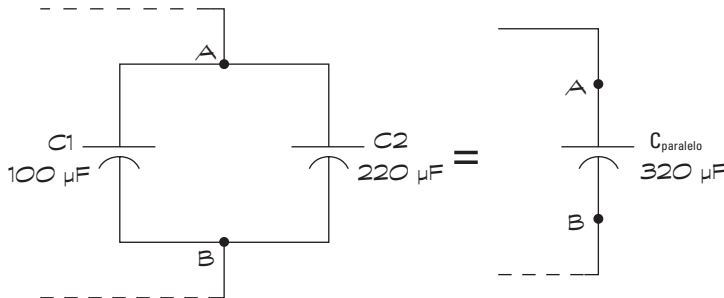



Figura 4-6: Capacitores em paralelo se somam.

A capacitância equivalente de um conjunto de capacitores em paralelo é

$$C_{paralelo} = C1 + C2 + C3 + C4 + \ldots$$

C1, C2, C3 e assim por diante representam os valores dos capacitores e $C_{paralelo}$ representa a capacitância equivalente total.

Para os capacitores da Figura 4-6, a capacitância total é

$$C_{paralelo} = 100\ \mu F + 220\ \mu F$$
$$= 320\ \mu F$$

Se você colocar os capacitores da Figura 4-6 em um circuito funcionando, a voltagem através de cada capacitor será a mesma, e a corrente que flui ao ponto A se dividirá para viajar por cada capacitor e, depois, somar-se-á novamente no ponto B.

Capacitores em série

Capacitores colocados em série funcionam uns contra os outros, reduzindo a capacitância efetiva da mesma forma que os resistores paralelos reduzem a resistência geral. O cálculo fica assim:

$$C_{séries} = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

C1 e C2 são os valores dos capacitores individuais, e $C_{série}$ é a capacitância equivalente. A capacitância total (em µF) de um capacitor de 100 µF em série com um capacitor de 200 µF, conforme mostra a Figura 4-7, é

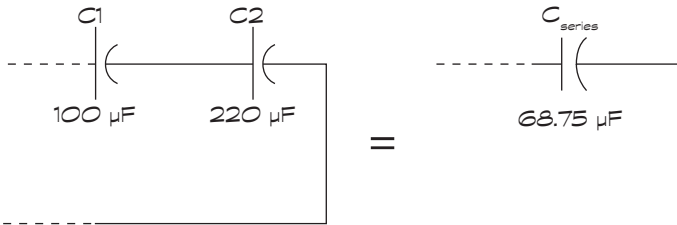
$$C_{séries} = \frac{100 \times 220}{100 + 220}$$
$$= \frac{22.000}{100}$$
$$= 68,75$$
$$C_{séries} = 68,75\ \mu F$$

Você pode ignorar temporariamente a parte "µ" do "µF" enquanto realiza os cálculos mostrados acima – contanto que todos os valores estejam em µF e você se lembre que a capacitância *total* resultante também está em µ

A capacit… um conjunto de capacitores em série é:

$$C_{séries} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} \cdots}$$ (e-mails, conforme necessário)

Como com qualquer componente em série, a corrente que passa por cada capacitor em série é a mesma, mas a queda de voltagem através de cada um pode ser diferente.

Figura 4-7: Capacitores em série funcionam uns contra os outros, reduzindo a capacitância geral.

Compreendendo a Reatância Capacitiva

No Capítulo 3, definimos a resistência como uma medida da oposição de um objeto ao fluxo de elétrons, e dissemos que os resistores têm quantidades controladas de resistência que permanecem as mesmas, não importando qual a voltagem ou situação da corrente. No entanto, se você pudesse medir a oposição de um capacitor ao fluxo de elétrons, descobriria que ela varia dependendo da situação.

Anteriormente neste capítulo, dissemos que os capacitores bloqueiam a corrente contínua (exceto por um breve tempo, em que estão se carregando e descarregando) e permitem a passagem da corrente alternada. Quando uma voltagem DC é repentinamente aplicada em um capacitor, como no circuito da lâmpada mostrado na Figura 4-2, veja o que acontece:

1. Primeiro, enquanto o capacitor está carregando, a corrente flui livremente pelo circuito, acendendo a lâmpada.
2. Quando o capacitor se aproxima de sua capacidade de reter carga, flui menos corrente até que, finalmente, o capacitor estará totalmente carregado, e a corrente não fluirá mais.

O capacitor oferece pouca oposição ao fluxo de elétrons quando uma mudança de voltagem é inicialmente aplicada – mas, por fim, ele se comporta como um circuito aberto, opondo-se a todo fluxo de elétrons. Quando uma fonte de voltagem AC é aplicada em um circuito capacitivo, permite-se que a corrente flua pelo circuito. Quanto mais rapidamente a voltagem da fonte flutuar, menos o capacitor se oporá ao fluxo de elétrons – assim como quando a bateria foi repentinamente aplicada no capacitor descarregado da Figura 4-2. Quanto mais lentamente flutuar a voltagem da fonte, mais o capacitor se oporá ao fluxo de elétrons.

A aparente resistência AC à corrente é conhecida como *reatância capacitiva*, e é medida em ohms (sim, ohms!). A reatância capacitiva é semelhante à resistência na medida em que representa oposição à corrente. Porém, ao contrário da resistência, que é constante para um dispositivo resistivo específico, a capacitância resistiva varia, dependendo da frequência da voltagem aplicada ao capacitor.

Você calcula a reatância capacitiva, simbolizada por X_c, usando a seguinte fórmula:

$$X_c = (2 \times \pi \times f \times C)^{-1}$$

Nesta fórmula, f representa a frequência em hertz (Hz) da voltagem AC aplicada, C é a capacitância em farads (*não* μF ou pF), e Õ é aquela constante que você conheceu na aula de geometria e que começa com 3,14 e vai se desenrolando em números à direita da vírgula decimal, sem se repetir. Você pode aproximar 2 x Õ de 6,28 e simplificar a fórmula assim:

$$X_c \approx (6.28 \times f \times C)^{-1}$$

Você pode ver, a partir desta fórmula, que a reatância capacitiva *diminui* conforme a frequência da voltagem aplicada *aumenta*. Um valor de frequência mais alto torna o denominador maior, o que faz com que a fração geral fique menor. Por exemplo, você pode calcular a reatância capacitiva de um capacitor de 0,1 μF quando uma fonte de voltagem AC, flutuando a 20 kHz, é aplicada conforme segue abaixo:

$$X_c \approx (6{,}28 \times 20.000 \times 0{,}0000001)^{-1}$$
$$\approx 80 \text{ ohms}$$

Se você reduzir a frequência da fonte da voltagem para 1 Hz, a reatância capacitiva se modificará da seguinte maneira:

$$X_c \approx (6{,}28 \times 1 \times 0{,}0000001)^{-1}$$
$$\approx 1{,}6 \text{ Mohms}$$

Note que isto é *muito* diferente da resistência ‘constante-não-importa-o--que-aconteça’ dos resistores comuns. Com os capacitores, quanto mais rapidamente a voltagem flutuar (isto é, quanto mais alta a frequência de sua flutuação), mais baixa será a reatância, e mais livremente a corrente fluirá. Quanto mais lentamente a voltagem flutuar (isto é, quanto mais baixa a frequência), maior será a reatância – e menos facilmente a corrente fluirá. Se a frequência for zero, o que significa nenhuma flutuação de voltagem (ou uma voltagem DC constante), o denominador será zero, e a reatância será infinita. Isso é a situação do circuito aberto (reatância infinita) na qual o capacitor bloqueia os sinais DC.

Usando a Lei de Ohm para reatância capacitiva

Uma vez que a reatância capacitiva é medida em ohms, você pode estar se perguntando se pode usar a Lei de Ohm com capacitores. A resposta é sim – mais ou menos. A Lei de Ohm funciona para a reatância capacitiva – mas apenas *uma frequência por vez*. Se você modificar a frequência da voltagem AC, mesmo que não modifique a magnitude dos altos e baixos da voltagem, terá que recalcular a Lei de Ohm em função da nova frequência.

Suponha que você aplique uma fonte de voltagem AC com um valor de pico de 5 volts em seu capacitor de 0,1μF. A corrente através do circuito alternará na mesma frequência da voltagem, mas a Lei de Ohm diz que o valor de pico da corrente depende do valor de pico da voltagem e da reatância capacitiva. Digamos por exemplo, que a frequência seja 1 Hz – a partir dos cálculos da seção anterior, você sabe que a reatância capacitiva de um capacitor 0,1 μF a 1 Hz é 1,6 MΩ. Agora você pode aplicar a Lei de Ohm para calcular a corrente AC de pico "através" do capacitor com um sinal de 1 Hz da seguinte forma:

$$\begin{aligned} I_{pico} &= \frac{V_{pico}}{X_c} \\ &= \frac{5 \text{ volts}}{1.600.000 \text{ ohms}} \\ &\approx 0{,}0000031 \text{ amps ou } 3.1\mu A \end{aligned}$$

Digamos que você modifique a frequência para 20 kHz, mas mantenha a mesma voltagem de pico de 5 volts. Agora, a reatância capacitiva é de 80 Ω (como calculado na seção anterior). Usando a Lei de Ohm, a corrente de pico "através" do capacitor quando você aplica uma voltagem a 20 kHz com um valor de pico de 5 volts é

$$\begin{aligned} I_{pico} &= \frac{V_{pico}}{X_c} \\ &= \frac{5 \text{ volts}}{80 \text{ ohms}} \\ &\approx 0{,}0625 \text{ amps ou } 62{,}5mA \end{aligned}$$

Assim, para o mesmo capacitor no circuito, conforme você aumenta a frequência da voltagem da fonte, você diminui a reatância capacitiva, o que resulta em um aumento da corrente que flui no circuito. Da mesma forma, se você diminui a frequência da voltagem da fonte, você aumenta a reatância capacitiva, o que resulta em uma corrente reduzida.

Ao contrário dos resistores, a forma como os capacitores de um circuito AC se comportam depende da frequência da voltagem aplicada a eles. Você pode (e deve) explorar este comportamento dependente da frequência para criar circuitos que realizem funções úteis – por exemplo, filtros que favoreçam sinais de alta frequência em vez de sinais de baixa frequência (e vice-versa). (Ver "Selecionando frequências com Filtros RC Simples.")

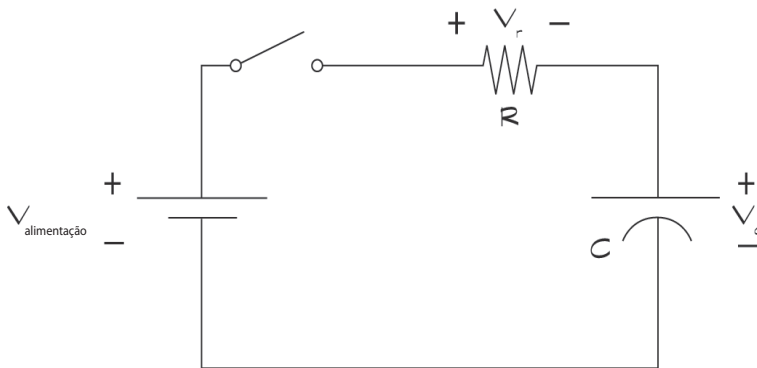
Trabalhando em Equipe com os Resistores

Os capacitores são normalmente encontrados trabalhando de mãos dadas com os resistores nos circuitos eletrônicos, combinando seu talento para armazenar energia elétrica com o controle do resistor sobre o fluxo de elétrons. Coloque estas duas habilidades juntas e você poderá controlar

a rapidez com que os elétrons enchem (ou carregam) um capacitor – e a rapidez com que esses elétrons esvaziam (ou descarregam) o capacitor. Essa dupla dinâmica é tão popular que os circuitos contendo resistores e capacitores são conhecidos por um apelido bem prático: *circuitos RC*.

O tempo é tudo

Dê uma olhada no circuito RC da Figura 4-8: a bateria carregará o capacitor através do resistor quando o interruptor for fechado. Inicialmente, a voltagem através do capacitor, V_c, é zero (supondo que o capacitor estava descarregado inicialmente). Quando você fecha o interruptor, a corrente começa a fluir e as cargas começam a se acumular nas placas do capacitor. A Lei de Ohm diz que a corrente de carregamento, I, é determinada pela voltagem entre o resistor, V_r e o valor do resistor, $R\left(I = \frac{V_r}{R}\right)$. E, uma vez que as quedas de voltagem são iguais às elevações de voltagem em todo o circuito, você sabe que a voltagem do resistor é a diferença entre a voltagem de alimentação, $V_{alimentação}$, e a voltagem do capacitor, V_c ($V_r = V_{alimentação} - V_c$). Usando esses dois fatos, você pode analisar o que se passa nesse circuito ao longo do tempo da seguinte forma:

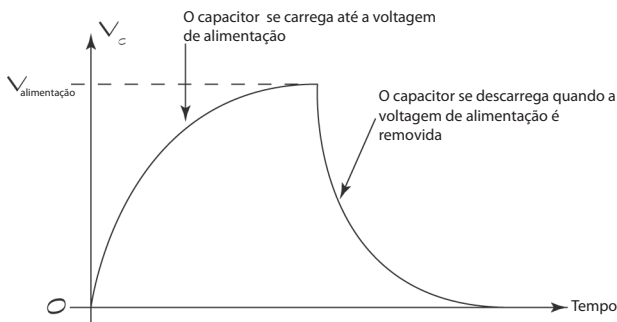
Figura 4-8: Em um circuito RC, o capacitor carrega-se através do resistor. Os valores do resistor e do capacitor determinam a rapidez com que o capacitor se carrega.

- **Inicialmente**: Uma vez que a voltagem do capacitor é, inicialmente, zero, a voltagem do resistor é inicialmente igual à voltagem de alimentação.
- **Carregando**: Conforme o capacitor começa a se carregar, ele desenvolve uma voltagem, então, a voltagem do resistor começa a cair, o que, por sua vez, reduz a corrente de carregamento. O capacitor continua a se carregar, mas em um ritmo mais lento, pois a corrente de carregamento diminuiu. Conforme a V_c continua a aumentar, a V_r continua a diminuir, então, a corrente também continuará a diminuir.

- **Totalmente carregado**: Quando o capacitor estiver totalmente carregado, a corrente será interrompida, a queda da voltagem através do resistor será zero, e a queda da voltagem através do capacitor será igual à voltagem de alimentação.

Se você remover a bateria e conectar o resistor em paralelo com o capacitor, o capacitor se descarregará através do resistor. Dessa vez, a voltagem através do resistor será igual à voltagem através do capacitor ($V_r = V_c$), então, a corrente será $^{V_r}/_R$. Veja o que acontece:

- **Inicialmente**: Pelo fato do capacitor estar totalmente carregado, sua voltagem é inicialmente $V_{alimentação}$. Já que $V_r = V_c$, a voltagem do resistor é inicialmente $V_{alimentação}$, então, a corrente salta imediatamente para $\frac{V_{alimentação}}{R}$. Isto significa que o capacitor está mandando cargas de uma placa à outra muito rapidamente.
- **Carregando**: Conforme as cargas começam a fluir de uma placa do capacitor para a outra, a voltagem do capacitor (e, portanto, V_r) começa a cair, resultando em uma corrente mais baixa. O capacitor continua a se descarregar, mas em um ritmo mais lento. Conforme V_c (e, portanto, V_r) continua a diminuir, a corrente também diminui.
- **Totalmente descarregado**: Quando o capacitor está totalmente descarregado, a corrente para de fluir e não há nenhuma queda de voltagem através do resistor ou do capacitor.

A forma de onda da Figura 4-9 mostra como, quando uma voltagem constante é aplicada e depois removida do circuito, a voltagem do capacitor muda ao longo do tempo conforme ele se carrega e se descarrega através do resistor. A rapidez com que o capacitor se carrega (e se descarrega) depende da resistência e da capacitância do circuito RC. Quanto maior a resistência, menor será a corrente que flui para a mesma voltagem fornecida – e mais tempo levará para o capacitor carregar-se. Uma resistência menor permite que mais corrente flua, carregando o capacitor mais rapidamente. Da mesma forma, quanto maior a capacitância, mais cargas serão necessárias para encher as placas do capacitor, portanto, mais tempo levará para carregar o capacitor. Durante o ciclo de descarga, um resistor maior retarda mais os elétrons enquanto eles se movem de uma placa à outra, aumentando o tempo de descarga. Um capacitor maior retém mais carga, levando mais tempo para se descarregar.

Figura 4-9: A voltagem através do capacitor muda ao longo do tempo, conforme o capacitor se carrega e se descarrega.

Calculando constantes de tempo RC

Ao escolher cuidadosamente os valores do capacitor e do resistor, você pode ajustar o tempo de carga e descarga de um capacitor. O fato é que a sua escolha da resistência, R, e da capacitância, C, *define* o tempo que leva para carregar e descarregar o capacitor escolhido em relação ao resistor escolhido. Se você multiplicar R (em ohms) por C (em farads), você obtém o que é conhecido como *constante de tempo RC* do seu circuito RC, simbolizada por T. E isso resulta em mais uma fórmula prática:

$$T = R \times C$$

Um capacitor se carrega e descarrega quase completamente após cinco vezes a sua constante de tempo RC, ou 5RC (que, na verdade, significa 5 × R × C). Após a passagem de tempo equivalente a uma constante de tempo, um capacitor descarregado carregar-se-á, chegando a até cerca de dois terços de sua capacidade – e um capacitor carregado descarregará cerca de dois terços dessa capacidade.

Por exemplo, suponha que você escolha um resistor de 2 MΩ e um capacitor de 15 μF para o circuito da Figura 4-8. Você calcula a constante de tempo RC da seguinte forma:

Constante de tempo RC = RxC = 2.000.000 ohms × 0,000015 farad = 30 segundos

Então, você sabe que levará cerca de 150 segundos (ou 2½ minutos) para carregar ou descarregar completamente o capacitor. Se desejar um tempo menor do ciclo de carga/descarga, você poderá reduzir o valor que escolher para o resistor ou para o capacitor (ou ambos). Suponha que um capacitor de 15 μF seja o único que você tenha em casa, e você queira carregá-lo em 5 segundos. Você poderá descobrir qual é o resistor necessário para fazer isso, da seguinte forma:

- **Descubra a constante de tempo RC**: Você sabe que levará cinco vezes a constante de tempo RC para carregar totalmente o capacitor e quer carregar totalmente seu capacitor em cinco segundos. Isso significa que 5RC = 5 segundos, portanto, RC = 1 segundo.
- **Calcule R**: Se R × C = 1 segundo e C é 15 μF, então você sabe que $R = {}^{1\ \text{segundo}}/_{0{,}000015\text{farad}}$, que é aproximadamente 66,667 ohms ou 67 kΩ.

Criando um timer

Armado com o conhecimento da constante de tempo RC, você pode usar um circuito RC para criar um *timer*. Digamos, por exemplo, que seu primo espaçoso tenha vindo passar um mês ou mais na sua casa e ele não para de atacar a geladeira no meio da noite. Você decide preparar um alarmezinho para assustá-lo sempre que ele abrir o refrigerador. Só por diversão, você gostaria de dar um tempinho para ele olhar a comida suculenta ali dentro antes de fazê-lo molhar as calças de susto com alguns decibéis bem escolhidos de uma campainha, a qual é disparada por um interruptor quando ele abre a porta da geladeira.

Se você tem uma campainha que requer uma voltagem de 6 volts para tocar e usa uma bateria de 9 volts para alimentar seu circuitinho do susto, você pode construir um circuito RC como o do Figura 4-8 e usar a voltagem do capacitor para disparar a campainha. A ideia é carregar o capacitor a até cerca de 6 volts, pelo tempo que você quiser que seu primo fique salivando com a sua comida – e, então, disparar o alarme.

Suponha que você queira que seu primo desfrute da vista por cerca de 10 segundos. Você tem um capacitor de 15 µF à mão, então, precisa calcular a resistência necessária para carregar o capacitor até 6 volts em 10 segundos. Uma vez que o capacitor ficará carregando até atingir a voltagem total de alimentação de 9 volts, o ponto de gatilho (quando a campainha tocará) será quando o capacitor alcançar $^{6}/_{9}$ de sua capacidade, ou dois terços de sua capacidade. Isso acontece depois de apenas uma constante de tempo. Você calcula a resistência para o intervalo de "atraso de campainha" de 10 segundos da seguinte forma:

$$10\,\text{segundos} = R \times 0{,}000015\,\text{farad}$$
$$R = {}^{10\,\text{segundos}}/_{0{,}000015\,\text{farad}} \approx 667\,\text{ohms}$$

Você tem um resistor de 620 Ω à mão, portanto, sua constante de tempo RC real é cerca de 9,3 segundos (isto é, 620 ohms x 15 µF). Levará cerca de 9,3 segundos para que a voltagem do capacitor atinja 6 volts, então, seu primo terá tempo suficiente para olhar – mas não o suficiente para comer – antes de ser pego com a boca na botija.

Se você quiser um ajuste mais fino do tempo de atraso, use um resistor com um valor um pouco mais baixo do que o necessário e adicione um potenciômetro em série com o resistor. Uma vez que a resistência total é a soma do valor do resistor fixo e do potenciômetro, você pode aumentar ou diminuir a resistência ajustando o potenciômetro. Basta girar o potenciômetro até obter o atraso que você deseja. O Capítulo 3 tratou dos potenciômetros em mais detalhes.

Selecionando Frequências com Filtros RC Simples

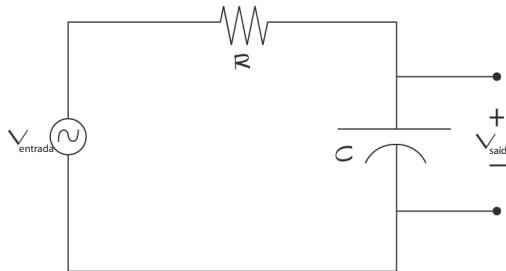
Uma vez que os capacitores se comportam de forma diferente dependendo da frequência da voltagem ou da corrente em um circuito, eles são frequentemente usados em circuitos especiais chamados *filtros* para permitir ou rejeitar sinais diversos. Os capacitores bloqueiam naturalmente os sinais DC e permitem a passagem dos sinais AC, mas você pode controlar exatamente quais sinais AC poderão passar, ao escolher cuidadosamente os componentes do seu circuito de filtro.

Esta seção se dedica a filtros muito simples – e como você pode controlar as frequências que podem passar por eles. O projeto de filtros eletrônicos, que já é um campo de estudos à parte, e fora do escopo deste livro, geralmente envolve a criação de circuitos mais complexos para o controle preciso da saída. Os conceitos subjacentes, porém, são os mesmos dos filtros simples aqui descritos.

Filtro passa-baixo

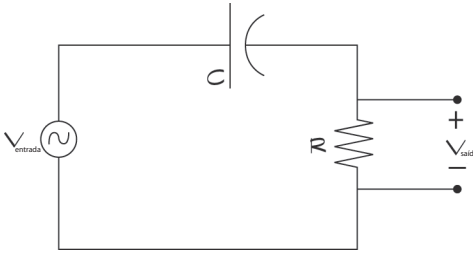
No circuito da Figura 4-10, uma fonte de corrente variável, identificada $V_{entrada}$, é aplicada em um circuito RC em série, e a saída do circuito, $V_{saída}$, é a voltagem através do capacitor. Suponha que você aplique uma voltagem constante (f = 0 Hz) ao circuito. Não fluirá corrente alguma, então, haverá a queda de toda a voltagem de entrada através do capacitor: $V_{saída} = V_{entrada}$. Na outra ponta do espectro de frequências, a reatância capacitiva para uma frequência muito, muito alta, é um valor muito, muito baixo. Isso provocará, efetivamente, um curto-circuito no capacitor, portanto, a queda de voltagem através do capacitor será zero: $V_{saída} = 0$.

Conforme você altera a frequência do sinal de entrada de muito baixo para muito alto, a reatância capacitiva varia de muito alta para muito baixa. Quanto mais alta a reatância, haverá mais queda de voltagem através do capacitor (às custas da queda de voltagem através do resistor). Quanto mais baixa a reatância, menos queda de voltagem haverá através do capacitor (e mais queda através do resistor). Esse circuito tende a permitir que frequências mais baixas passem da entrada para a saída enquanto bloqueia frequências mais altas, impedindo-as de passar – por isso, ele é conhecido como *filtro passa-baixo*.

Figura 4-10: Um filtro passa-baixo permite que sinais de entrada com baixa frequência passem até a saída.

Filtro passa-alto

Invertendo os papéis do resistor e do capacitor no circuito RC passa-baixo, você pode criar o efeito contrário: um *filtro passa-alto*. No circuito da Figura 4-11, a voltagem de saída é a voltagem através do resistor. Nos sinais de entrada com frequência muito baixa, o capacitor bloqueia o fluxo da corrente, portanto, não há queda de voltagem através do resistor: $V_{saída} = 0$. Nos sinais de entrada com frequência muito alta, o capacitor age como um curto-cicuito; assim, a corrente flui e ocorre a queda de toda a voltagem de entrada através do resistor: $V_{saída} = V_{entrada}$.

Conforme você altera a frequência de baixa para alta, a reatância capacitiva varia de alta para baixa. Você pode pensar nisso como a colocação de um dispositivo imaginário – um potenciômetro controlado por frequência – no circuito, no lugar do capacitor: à medida que a frequência de entrada aumenta, a reatância diminui – e mais queda de voltagem de entrada ocorrerá através do resistor.

Figura 4-11: Um filtro passa-alto permite que sinais de entrada com alta frequência passem até a saída.

Cortando as frequências na inclinação

Os circuitos de filtros são projetados para passar certas frequências enquanto atenuam, ou reduzem a amplitude, de outras frequências. Nenhum filtro é perfeito; ele não pode passar completamente todos os sinais acima ou abaixo de uma frequência específica enquanto bloqueia totalmente todas as outras. Projetos de filtros complexos são muito melhores do que filtros RC simples na distinção das frequências que passam e das que não passam, mas todos os filtros, sejam simples ou complexos, têm em comum um parâmetro de projeto chamado *frequência de corte*.

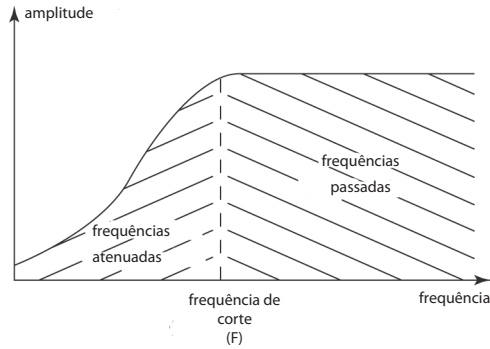
A *frequência de corte*, F_c, é a frequência a partir da qual o filtro começa a restringir a passagem do sinal de entrada. A Figura 4-12 mostra um gráfico da amplitude do sinal de saída para várias frequências de entrada em um filtro passa-baixo (note que este gráfico expressa a frequência, não o tempo!). O gráfico mostra que as frequências acima do valor de corte têm passagem permitida com pouca ou nenhuma atenuação, enquanto as frequências abaixo do valor de corte são substancialmente atenuadas. A frequência de corte ocorre perto da inclinação da curva; você pode encontrá-la usando esta equação:

$$F_c = (2 \times \pi \times T)^{-1}$$

Uma vez que T = R x C, você pode controlar a frequência de corte de seu filtro passa-baixo ou passa-alto selecionando cuidadosamente os valores do resistor e do capacitor, de acordo com a seguinte equação:

$$F_c = (2 \times \pi \times R \times C)^{-1}$$

Por exemplo, digamos que você tenha uma configuração de filtro passa-alto com um resistor de 220 Ω e um capacitor de 0,1μF. A frequência de corte do seu filtro será, aproximadamente, 1/6,28 x 220 ohms x 0,0000001 farad, ou cerca de 7.200 Hz. Se você usar um filtro assim em um sistema de áudio, não fique surpreso se ouvir pouca coisa dos vocais e instrumentos da sua banda preferida: os sons que eles fazem fica muito abaixo de 7.000 Hz, e o seu filtro simples atenua esses sons!

Figura 4-12: A frequência de corte do filtro, Fc, é a frequência a partir da qual o filtro começa a atenuar o sinal.

Filtrando faixas de frequência

Você pode projetar filtros que tenham duas frequências de corte – uma alta e outra baixa – para permitir que uma certa faixa, ou *banda*, de frequências passe ou rejeite uma faixa de frequências. Tais filtros são conhecidos como filtros *passa-faixa* ou *passa-banda* e *rejeita-faixa* ou *rejeita-banda,* respectivamente, e são construídos através da combinação de filtros de passa-baixo e filtros de passa-alto da forma certa.

Filtros passa-faixa são comumente usados em sistemas radiorreceptores para selecionar o sinal certo dentre muitos sinais transmitidos pelo ar. Você pode usar um filtro rejeita-faixa para "filtrar" chiados indesejados em uma linha da alimentação a 60 Hz – contanto que saiba a banda de frequência dos chiados. A maioria desses filtros complexos emprega indutores, além de capacitores e resistores. Discutiremos indutores no Capítulo 5.

Pondo sua Habilidade à Prova com Circuitos Capacitivos Simples

Você pode dar uma olhada no Capítulo 14, na Parte III, se estiver ansioso para brincar com alguns circuitos capacitivos de verdade. Os circuitos de treino desse capítulo vão deixá-lo estimulado com o esvaziar/encher do capacitor, e lhe darão uma experiência pessoal com a mágica da constante de tempo RC. Se você optar por seguir essa corrente, pedimos que leia toda a Parte II antes para saber como preparar sua oficina eletrônica, ler esquemas e – o mais importante – praticar a construção segura de circuitos.

Capítulo 5

Nas Reviravoltas com Bobinas e Cristais

Neste Capítulo:

- Induzindo correntes em bobinas com um campo magnético variável
- Opondo-se às mudanças na corrente com um indutor
- Usando indutores em circuitos de filtro
- Ressoando com circuitos RLC
- Tornando as frequências claras como cristal
- Acoplando o fluxo magnético para transferir energia entre circuitos

Muitas das melhores invenções do mundo, incluindo a penicilina, o post-it, o champanhe e o marca-passo, foram resultados de puras descobertas acidentais (em alguns casos, atribuíveis a um total desleixo, ou à ciência de segunda categoria). Um desses felizes achados – a interação entre eletricidade e magnetismo – levou ao desenvolvimento de dois componentes eletrônicos incrivelmente úteis: a bobina de indução e o transformador.

A *bobina de indução*, ou *indutor*, armazena energia elétrica em um campo magnético e molda sinais elétricos de forma diferente de um capacitor. Seja operando sozinho, em pares especiais conhecidos como *transformadores*, ou como parte de uma equipe, junto com os capacitores e resistores, os indutores estão no coração de muitas facilidades da vida moderna sem as quais você não gostaria de ficar, incluindo sistemas de rádio, televisão e – ah, uma coisa secundária – a rede de transmissão de energia elétrica.

Este capítulo expõe a relação entre a eletricidade e o magnetismo, e explica como os cientistas do século XIX exploraram propositadamente essa relação para criar indutores e transformadores. Você dará uma olhada no que acontece quando você tenta mudar a direção da corrente através de um indutor, muito rapidamente, e como a Lei de Ohm pode ser aplicada em indutores. Depois, você irá explorar a forma como os indutores são usados em circuitos e por que os cristais soam em uma só frequência. Finalmente, você irá compreender (bem isolado) como os transformadores transferem energia elétrica de um circuito a outro – sem nenhum contato direto entre eles.

Primos Enamorados: Magnetismo e Eletricidade

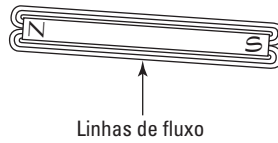
O magnetismo e a eletricidade eram vistos como dois fenômenos completamente separados até que um cientista do século XIX, chamado Hans Christian Ørsted, descobriu que o ponteiro de uma bússola afastava-se do norte magnético quando a corrente fornecida por uma bateria próxima era ligada e desligada. A observação dedicada de Ørsted o levou a muitas pesquisas e experiências, e finalmente confirmou o fato de que a eletricidade e o magnetismo estão intimamente relacionados. Depois de vários anos (e de muitas descobertas acidentais), Michael Faraday e outros cientistas do século XIX descobriram como captar fenômenos conhecidos como *eletromagnetismo* para criar os primeiros dispositivos eletromagnéticos do mundo. Os transformadores de energia, geradores eletromagnéticos, e muitos motores industriais de hoje, baseiam-se nos princípios do eletromagnetismo.

Esta seção trata de como a eletricidade e o magnetismo interagem.

Entrando na linha (de fluxo) com ímãs

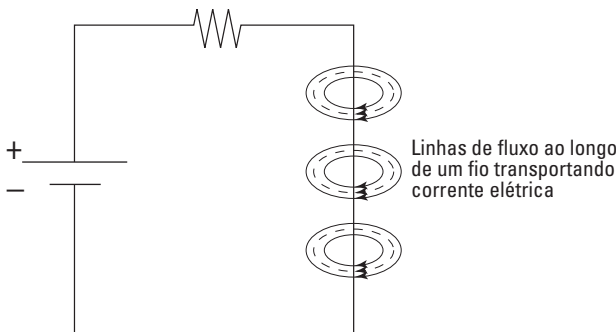
Assim como a eletricidade envolve uma força (voltagem) entre duas cargas elétricas, o magnetismo também envolve uma força entre dois polos magnéticos. Se você já realizou o clássico experimento de ciência da escola, em que você coloca um ímã em uma superfície e joga um punhado de limalha de ferro perto do ímã, você já viu os efeitos da força magnética. Lembra-se do que aconteceu com a limalha de ferro? Ela se acomodou em caminhos lineares curvados do polo norte do ímã ao polo sul. Aquela limalha mostrava as linhas de força – também conhecidas como *linhas de fluxo* – dentro do campo magnético criado pelo ímã. Você pode ter visto mais limalha perto do ímã porque é aí que o campo magnético é mais forte. A Figura 5-1 mostra o padrão produzido pelas linhas invisíveis de fluxo ao redor de um ímã.

O fluxo magnético é apenas uma forma de representar a força e a direção de um campo magnético. Para entender as linhas de fluxo, pense no efeito do ar em um barco a vela. Quanto mais forte for o vento e maior a vela, maior a força do ar na vela. Mas se a vela estiver orientada em paralelo com a direção do fluxo do vento, o ar passa pela vela e até mesmo um vento forte não a moverá. O efeito do vento é mais forte quando ele bate de frente na vela – isto é, quando a superfície da vela está perpendicular à direção do fluxo do vento. Se você tentar representar a força e a direção do vento e a orientação da vela em um diagrama, poderá desenhar flechas mostrando a força do vento se estendendo na superfície da vela. Da mesma forma, as linhas do fluxo magnético ilustram a força e a orientação de um campo magnético mostrando como sua força agirá em um objeto colocado dentro do campo. Esses objetos serão maximamente afetados pela força do campo magnético se estiverem orientados perpendicularmente às linhas de fluxo.

Figura 5-1: As linhas magnéticas de força existem em paralelo com as linhas de fluxo de um polo norte de um ímã ao seu polo sul.

Produzindo um campo magnético com a eletricidade

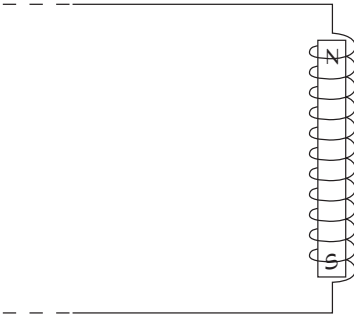
Conforme descobriu Ørsted, a corrente elétrica que passa por um fio produz um campo magnético fraco ao redor do fio. É por isso que o ponteiro da bússola movia-se quando a bússola se aproximava do circuito de Ørsted. Ao impedir a corrente de fluir, o campo magnético desaparece. Este ímã temporário é eletronicamente controlável – isto é, você pode ligar ou desligar o ímã ligando e desligando a corrente – e isto é conhecido como *eletroímã*.

Com a corrente ligada, as linhas de força rodeiam o fio e ficam igualmente espaçadas ao longo do comprimento do fio, como mostra a Figura 5-2. Imagine um rolo de toalha de papel com um fio passando através de seu centro precisamente. Se você passar uma corrente no fio, linhas de fluxo invisíveis envolverão o fio ao longo da superfície do rolo, e ao longo de "anéis" semelhantes ao redor do fio, a distâncias variadas do fio. A intensidade da força magnética diminui conforme as linhas de fluxo se afastam do fio. Se você enrolar um fio portador de corrente em uma bobina uniforme de metal, as linhas de fluxo se alinharão e se reforçarão mutuamente: você fortaleceu o campo magnético.

Figura 5-2: A corrente fluindo através de um fio produz um campo magnético fraco ao seu redor.

Induzindo correntes com um ímã

Humm... Se a eletricidade que passa por um fio produz um campo magnético, o que acontece se você colocar uma volta fechada de fio perto de um ímã permanente? Na verdade, não acontece nada – a menos que você mova o ímã. Um campo magnético em movimento *induz* uma voltagem nas pontas do fio, fazendo uma corrente fluir no fio. A *indução eletromagnética* parece fazer a corrente aparecer magicamente – sem nenhum contato direto com o fio. A força da corrente depende de muitas coisas, como a força do ímã, o número de linhas de fluxo interceptadas pelo fio, o ângulo no qual o fio atravessa as linhas de fluxo, e a velocidade do movimento do ímã. Você pode aumentar suas chances de induzir uma corrente forte enrolando o fio em forma de bobina e colocando o ímã através do centro (*núcleo*) da bobina. Quanto mais voltas de fio você enrolar, mais forte será a corrente.

Suponha que você coloque um forte ímã permanente no centro de uma bobina de fio que está conectada conforme a Figura 5-3. Se você mover o ímã para cima, a corrente será induzida no fio e fluirá em uma direção. Se você moveu o ímã para baixo, a corrente também será induzida, mas ela fluirá em outra direção. Movendo o ímã para cima e para baixo repetidamente, você poderá produzir uma corrente alternada (AC) no fio. Alternativamente, você pode mover o *fio* para cima e para baixo ao redor do ímã, e a mesma coisa acontecerá. Contanto que haja movimento relativo entre o fio e o ímã, a corrente será induzida no fio.

Figura 5-3: Mover um ímã dentro de uma bobina de fio induz uma corrente no fio.

Muitas usinas de energia geram AC girando um condutor dentro de um forte ímã em forma de ferradura. O condutor é conectado a uma turbina rotativa que gira conforme a água ou o vapor foi aplicando pressão nas pás. Quando o condutor realiza uma rotação inteira dentro do ímã, este puxa os elétrons, primeiro em uma direção, e depois na outra, produzindo uma corrente alternada.

Apresentando o Indutor: uma Bobina com Personalidade Magnética

O símbolo de circuito de um indutor tem esta aparência. Um *indutor* é um componente eletrônico passivo feito de uma bobina de fio enrolada em torno de um núcleo – que pode ser de ar, ferro ou ferrita (um material frágil feito a partir do ferro). Materiais de núcleo baseados em ferro aumentam a força do campo magnético induzido pela corrente em centenas de vezes. Às vezes os indutores são conhecidos como *bobinas*, *eletroímãs* e *solenóides*, dependendo de como são usadas nos circuitos.

Se você passar uma corrente em um indutor, criará um campo magnético ao redor do fio. Se você *mudar* a corrente, aumentando-a ou diminuindo-a, o fluxo magnético pela bobina se modificará, e uma voltagem será induzida através do indutor. Essa voltagem, às vezes chamada de *tensão de retorno* (*back voltage*), causa um fluxo de corrente oposto à corrente principal. Essa propriedade dos indutores é conhecida como *autoindutância*, ou, simplesmente, *indutância*.

Medindo a indutância

A indutância, simbolizada por L, é medida em unidades chamadas *henrys* (o nome vem de Joseph Henry, um nova-iorquino que gostava de brincar com ímãs e descobriu a propriedade da autoindutância). Uma indutância de um henry (abreviado por H) irá induzir um volt quando a corrente mudar seu valor de fluxo em um ampere por segundo. Naturalmente, um henry é muito grande para a eletrônica do dia a dia, então você ouvirá, mais provavelmente, milihenrys (mH) – não é porque o nome da esposa de Joseph era Milly, mas porque a indutância medida em *milésimos* de henry é mais comum. Você também encontrará microhenrys (μH), que são um milionésimo de henry.

Opondo-se às mudanças de corrente

Na Figura 5-4, uma voltagem DC é aplicada a um resistor em série com um indutor. Se não houvesse indutor no circuito, uma corrente igual a $V_{alimentação}/_R$ fluiria instantaneamente assim que a voltagem DC fosse ligada. Porém, introduzir um indutor afeta o que acontece com a corrente que flui no circuito.

Quando uma voltagem DC é inicialmente ligada, a corrente que começa a fluir induz um campo magnético na bobina do indutor. Conforme a corrente aumenta (o que ela tentará fazer instantaneamente), a força do campo magnético aumenta proporcionalmente. Uma vez que o campo magnético muda, ele induz uma tensão de retorno que, por sua vez, induz uma corrente no fio da bobina *na direção oposta* à da corrente,

que já está fluindo da fonte de voltagem. O indutor tenta impedir que a corrente da fonte mude muito rapidamente, e o efeito é que a corrente não aumenta instantaneamente. É por isso que se diz que os indutores “se opõem às mudanças na corrente.”

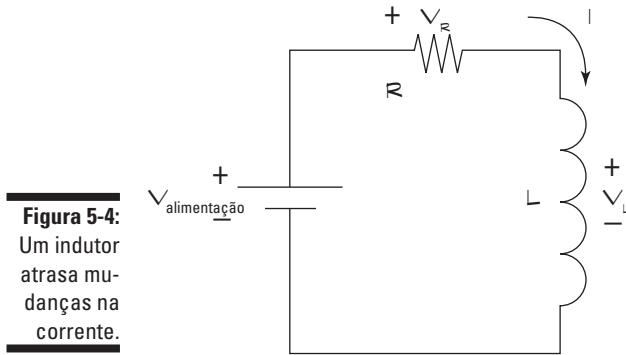



Figura 5-4: Um indutor atrasa mudanças na corrente.

A corrente induzida na bobina reduz um pouco a força do campo magnético em expansão. Conforme a corrente da fonte segue aumentando, o campo magnético continua a se expandir (cada vez mais devagar), e uma corrente oposta à corrente da fonte continua a ser induzida (mas ela fica cada vez menor). O ciclo continua, até que, finalmente, a corrente geral se acomoda em uma DC estável. Quando a corrente alcança um nível estável, o campo magnético não se modifica mais – e o indutor deixa de afetar a corrente do circuito.

O efeito geral é que leva uma quantidade finita de tempo para a corrente que flui no indutor alcançar um valor DC estável (a quantidade específica de tempo que leva depende de algumas coisas, tais como as características do indutor e o tamanho do resistor no circuito. Ver “Calculando a constante de tempo RL” mais adiante neste capítulo.) Quando isso acontece, a corrente flui livremente pelo indutor, o qual age como um simples fio (comumente referido como *curto-circuito*, ou simplesmente *curto*), então, $V_L = 0$ V e a corrente de estado estável é determinada pela voltagem da fonte e pelo resistor de acordo com a Lei de Ohm ($I = V_{alimentação}/_R$).

Se você, em seguida, remover a fonte de voltagem DC e conectar o resistor através do indutor, a corrente fluirá por um curto período de tempo com o indutor novamente opondo-se à repentina queda na corrente, até que esta, finalmente, se acomoda em zero e o campo magnético desaparece.

Do ponto de vista da energia, quando você aplica uma fonte DC a um indutor, ele armazena energia elétrica em um campo magnético. Quando você remove a fonte DC e conecta um resistor através do indutor, a energia é transferida para o resistor, onde é dissipada com o calor. Os indutores armazenam energia em campos magnéticos. Um indutor real – em oposição ao “indutor ideal” teórico – exibe uma certa quantidade de resistência e capacitância além da indutância devido às propriedades

físicas do fio enrolado e do material do núcleo, bem como da natureza dos campos magnéticos. Consequentemente, um indutor não pode reter energia elétrica por muito tempo (como o capacitor pode), porque a energia se perde através da dissipação de calor.

Para ajudar você a entender os indutores, pense na água fluindo em um cano com uma turbina dentro. Quando você aplica, inicialmente, a pressão à água, as pás da turbina obstruem o fluxo, aplicando pressão de retorno na água. Conforme as pás começam a girar, elas aplicam menos pressão de retorno, então, a água flui mais facilmente. Se você, repentinamente, remover a pressão da água, as pás continuarão girando por algum tempo, puxando água com elas, até que parem de girar e a água pare de fluir.

Não se preocupe com as entradas e saídas de correntes induzidas, campos magnéticos expandindo-se e se contraindo, e coisas do tipo. Apenas lembre-se de algumas coisas sobre os indutores:

- Um indutor se opõe (resiste) às mudanças na corrente.
- Um indutor age como um circuito aberto quando a DC é inicialmente aplicada (isto é, não flui corrente alguma imediatamente, e há uma queda da voltagem da fonte inteira através do indutor).
- Um indutor acaba agindo como um curto em circuitos DC – isto é, quando toda a mágica do campo magnético se acomoda, a voltagem é zero, e o indutor permite que toda a corrente DC passe.

Em pé de igualdade com a corrente alternada (ou não!)

Quando você aplica uma voltagem AC a um circuito contendo um indutor, o indutor luta contra quaisquer mudanças na corrente da fonte. Se você variar a voltagem de alimentação para cima e para baixo em uma frequência muito alta, o indutor continuará opondo-se às mudanças repentinas na corrente. No extremo mais alto do espectro da frequência, não flui corrente alguma, pois o indutor simplesmente não consegue reagir com rapidez suficiente à mudança na corrente.

Imagine que você esteja parado entre duas bandejas de sobremesa muito tentadoras. Você quer ir até as duas, mas não consegue se decidir sobre qual experimentar primeiro. Você começa a correr em direção a uma, mas muda rapidamente de ideia, vira-se e começa a correr em direção à outra. Então, você muda de ideia novamente, começa a correr em direção à primeira, e assim por diante. Quanto mais rápido você mudar de ideia, mais você vai ficar parado no meio – sem chegar a lugar nenhum (ou à nenhuma sobremesa). Aquelas sobremesas tentadoras fazem você agir como os elétrons em um indutor quando um sinal de alta frequência é aplicado ao circuito: nem você e nem os elétrons fazem qualquer progresso.

Compreendendo a Reatância Indutiva

A oposição de um indutor à modificação de corrente é conhecida como *reatância indutiva*. Quanto mais rápido a corrente tentar mudar, mais o indutor resistirá à mudança.

No exemplo dividido-entre-duas-sobremesas que acabamos de servir, se você não mudar de ideia tão rápido, poderá correr até a primeira bandeja, comer um cannoli, depois correr para a segunda bandeja, comer uma minibomba de creme, e assim por diante. Se você mudar de ideia um pouco mais rápido (mas ainda não a cada fração de segundo), poderá se pegar correndo para cada bandeja, chegando até a metade do caminho, virando-se e voltando em direção a outra bandeja, indo até metade do caminho, e assim por diante. Até onde você chega depende da rapidez com que muda de ideia. É a mesma coisa com o fluxo de corrente através de um indutor: até onde a corrente chega, depende da rapidez com que ela muda.

A reatância indutiva, simbolizada por X_L , é medida em – você adivinhou? – ohms. A reatância indutiva, como a reatância capacitiva (discutida no Capítulo 4), varia com a frequência, e, então, é muito diferente da resistência fixa do resistor comum. Você usa esta fórmula para X_L:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Nesta fórmula, f representa a frequência em hertz (Hz) da voltagem AC aplicada, L é a indutância em henrys, e π é uma constante que pode ser aproximada para 3,14. Você pode aproximar 2 x π como 6,28 e simplificar a fórmula da seguinte maneira:

$$X_L \approx 6{,}28 \times f \times L$$

Você calcula a reatância indutiva de um indutor de 0,1mH para uma fonte com frequência de 1 Hz assim:

$$X_L \approx 6{,}28 \times 1 \times 0{,}0001$$

$$\approx 0{,}000628\ \Omega$$

Se elevar a frequência para 2 MHz (isto é, 2.000.000 Hz), a reatância indutiva será:

$$X_L \approx 6{,}28 \times 2.000{,}000 \times 0{,}0001$$

$$\approx 1{,}3\ k\Omega$$

Note que, com um sinal de baixa frequência (1 Hz), a reatância indutiva era praticamente zero; então, o indutor parecia quase como um curto-circuito, não apresentando nenhuma oposição à corrente. Com um sinal de alta frequência (2 MHz), o indutor ofereceu oposição significativa ao fluxo da corrente (1,3kΩ de resistência).

Usando a Lei de Ohm para reatância indutiva

Você pode usar a Lei de Ohm na reatância indutiva, assim como na reatância capacitiva, contanto que seja cuidadoso e a aplique a uma frequência de cada vez. Suponha que você aplique uma voltagem AC a 2 MHz com um valor de pico de 5 V em seu indutor de 0,1 mH. Você pode calcular a corrente de pico que flui através do indutor aplicando a Lei de Ohm:

$$I_{pico} = \frac{V_{pico}}{X_L}$$

A reatância indutiva para um indutor de 0,1 mH a 2 Mhz é 1,3kΩ (conforme calculado acima), então a corrente de pico será:

$$I_{pico} \approx \frac{5\ V}{1{,}300\ \Omega}$$
$$\approx 0{,}0038\ A \text{ ou } 3{,}8\ mA$$

Comportamentos diferentes de acordo com a frequência (de novo!)

Como os capacitores, os indutores em um circuito AC agem de forma diferente dependendo da frequência da voltagem aplicada a eles. Uma vez que a corrente que passa em um indutor é afetada pela frequência, o mesmo acontece com as quedas de voltagem através do indutor e outros componentes do circuito. Esse comportamento dependente da frequência forma a base de funções úteis, como os filtros passa-alto, passa-baixo e passa-faixa.

Os indutores são como os alteregos dos capacitores. Os capacitores se opõem às mudanças de voltagem: os indutores se opõem às mudanças de corrente. Os capacitores bloqueiam DC e passam cada vez mais AC conforme a frequência aumenta; os indutores passam DC e bloqueiam cada vez mais AC conforme a frequência aumenta.

Usando Indutores em Circuitos

Basicamente os indutores são usados em circuitos ressonantes para selecionar ou rejeitar sinais de frequências específicas, e para bloquear sinais de alta frequência, como eliminar interferências de radiofrequência (RF) em transmissões de cabo. Em aplicações de áudio, os indutores também são comumente usados para remover o chiado a 60 Hz, conhecido como *ruído* (geralmente criados por cabos de alimentação próximos).

Você provavelmente encontra indutores mais frequentemente do que imagina. Muitos sensores de semáforos – aqueles dispositivos que parecem saber que há carros esperando o sinal mudar – usam um indutor para ativar a mudança de luz.

Embutido na rua, a vários metros antes do cruzamento, está um laço indutivo que consiste em várias voltas de uma bobina gigantesca com cerca de 1,80 metros de diâmetro. Esse laço é conectado a um circuito que controla o semáforo. Conforme você passa sobre o laço, as partes metálicas do fundo do carro mudam o fluxo magnético do laço. O circuito detecta essa mudança – e dá um sinal verde.

Isolando e blindando indutores

O fio que forma um indutor deve ser isolado para evitar curtos-circuitos indesejados entre as voltas. Os indutores usados na maioria dos circuitos eletrônicos também são *blindados*, ou envoltos em uma cápsula de metal não ferroso (tipicamente latão ou alumínio), para evitar que as linhas magnéticas de fluxo infiltrem-se na vizinhança de outros componentes de um circuito. Você usa um indutor blindado quando não quer induzir voltagens ou correntes em outros elementos do circuito. Você usa um indutor sem blindagem (ou bobina) quando quer afetar outros elementos do circuito. Discutiremos o uso de bobinas sem blindagem na seção "Influenciando a bobina vizinha: transformadores."

Interpretando valores de indutância

O valor de um indutor está normalmente marcado na cápsula, e usa a mesma técnica de código de cores dos resistores sobre a qual você pode ler no Capítulo 3. Você irá encontrar, frequentemente, o valor de indutores maiores impressos diretamente nos componentes. Indutores de menor valor parecem-se muito com resistores com poucos watts de potência; tais indutores e resistores têm até indicações de código de cores parecidas. Indutores de valores maiores estão disponíveis em vários tamanhos e formas que dependem de como foram projetados para serem usados.

Os indutores podem ser fixos ou variáveis. Em cada tipo, um comprimento de fio é enrolado ao redor de um núcleo. O número de voltas do fio, o material do núcleo, o diâmetro do fio e o comprimento da bobina determinam o valor numérico do indutor. Indutores fixos têm valor constante; indutores variáveis têm valores ajustáveis. O núcleo de um indutor pode ser feito de ar, de ferro, ferrita ou de vários outros materiais (inclusive o seu carro). Os materiais de núcleo mais comuns são ar e ferrita.

Combinando indutores blindados

O mais provável é que você não use indutores nos circuitos eletrônicos básicos que fizer, mas encontre diagramas de circuitos de fontes e alimentação e outros dispositivos que incluam múltiplos indutores. No caso de você os encontrar, é importante saber como calcular a indutância equivalente de combinações de indutores blindados para que possa ter uma imagem clara de como o circuito opera.

Os indutores em série são somados, assim como os resistores:

$$L_{series} = L1 + L2 + L3 \ldots$$

Assim como os resistores, os indutores em paralelo se combinam ao somarem os recíprocos de cada indutância individual, e depois tirarem o recíproco dessa soma. Você talvez se lembre, das aulas de matemática, que o recíproco é o inverso multiplicativo de um número, ou o número pelo qual você multiplica para que o resultado seja igual a 1. Para qualquer número inteiro x, 1/x é seu recíproco.

$$L_{paralelos} = \frac{1}{\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} \ldots}$$

Outra forma de expressar a equação acima é:

$$\frac{1}{L_{paralelos}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} \ldots$$

Se você tem dois indutores em paralelo, pode simplificar assim:

$$L_{paralelos} = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$$

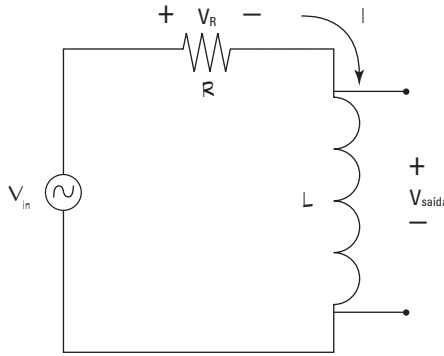
Filtrando sinais com indutores

Lembre-se: indutores são como o alterego dos capacitores. Ao que se revela, você pode usar os indutores em circuitos de filtro para fazer exatamente o oposto do que os capacitores fazem, como discutimos no Capítulo 4.

A Figura 5-5 mostra um *circuito RL*, o qual é simplesmente aquele que contém um resistor e um indutor com a voltagem de saída, $V_{saída}$, definida como a queda de voltagem através do indutor.

Quanto mais baixa for a frequência da voltagem de entrada, mais o indutor será capaz de reagir às mudanças na corrente, por isso, mais o indutor parecerá um curto, passando corrente com pouca ou nenhuma oposição. Como resultado, com frequências de entrada baixas, a voltagem de saída será zero. Quanto mais alta for a frequência da voltagem de entrada, mais o indutor lutará contra a mudança na corrente, e menos sucesso a corrente de entrada terá ao empurrar a corrente pelo circuito. Como resultado, com frequências de entrada altas quase não haverá queda de voltagem através do resistor (porque $V_R = I \times R$, e I é muito baixa), então, haverá a queda da maior parte da voltagem de entrada através do indutor, e a voltagem de saída será quase a mesma que a voltagem de entrada.

Este circuito RL é configurado com um *filtro passa-alto*, pois "permite" que sinais de entrada de alta frequência "passem" até a saída, enquanto bloqueia DC e baixas frequências, impedindo-os de passar.

Figura 5-5: Um circuito RL pode ser usado como um simples filtro passa-alto.

Se você inverter os papéis do resistor e do indutor na Figura 5-5, e definir que a voltagem de saída é a voltagem que cai através do resistor, você terá um *filtro passa-baixo*. Com frequências mais baixas, uma vez que o indutor se comporta mais e mais como um curto, haverá pouca ou nenhuma queda de voltagem através dele; então, quase toda a voltagem de entrada cairá através do resistor; em frequências mais altas, o indutor age mais e mais como um circuito aberto, permitindo um fluxo cada vez menor de corrente através do circuito e, portanto, através do resistor – de modo que a voltagem será dramaticamente *atenuada* (diminuída).

Calculando a constante de tempo RL

Você pode calcular a quantidade de tempo (em segundos) que a voltagem induzida de um indutor leva, para alcançar aproximadamente dois terços de seu valor, usando a constante de tempo RL, que é T. A fórmula fica assim:

$$T = L/R$$

Assim como a constante de tempo RC em circuitos RC (sobre a qual você poderá ler no Capítulo 4) lhe dá uma ideia de quanto tempo um capacitor leva para carregar-se até sua capacidade total, tirar a constante de tempo RL ajuda você a descobrir quanto um indutor levará para conduzir totalmente uma corrente DC: a corrente direta se acomoda em um valor estável após cerca de cinco constantes de tempo RL. Você também pode usar a constante de tempo RL para calcular a *frequência de corte do filtro* (a frequência na qual um filtro começa a afetar um sinal de entrada) da seguinte forma:

$$F_c = (2 \times \pi \times T)^{-1}$$
$$= (2 \times \pi \times L)^{-1}$$

E, com Vocês, a Impedância!

Como mencionamos anteriormente neste capítulo, a oposição de um indutor à mudança da corrente é conhecida como reatância indutiva – assim como a oposição de um capacitor à mudança da corrente é conhecida como reatância capacitiva (mais sobre isso no Capítulo 4). Embora tanto a reatância como a resistência envolvam opor-se à corrente alternada (AC), elas não são a mesma coisa; a resistência é constante em todas as frequências, enquanto a reatância varia com a frequência. Nos circuitos que têm reatância *e* resistência, por exemplo, o circuito RL da Figura 5-5, você pode precisar saber a oposição total à corrente alternada no circuito para um sinal de entrada de uma determinada frequência.

Tanto a resistência como a reatância são medidas em ohms, então, você talvez pense que pode simplesmente somar a reatância indutiva, X_L, à Resistência, R, para obter a oposição total à corrente (como na soma de resistências em série) – mas não pode. A razão de não poder tem a ver com o tempo que um indutor (e, semelhantemente, um capacitor) leva para *reagir* às mudanças no circuito. A boa notícia é que há uma forma de calcular a oposição total à corrente que ocorre em um circuito em uma frequência específica.

A *impedância* é a oposição total que um circuito oferece à corrente variável em uma dada frequência. Isso é análogo à resistência equivalente de um circuito puramente resistivo, conforme discutido no Capítulo 3, que leva em conta todas as resistências do circuito. Você usa o símbolo Z para representar a impedância. A impedância leva em conta a resistência total *e* a reatância total de um circuito.

Você pode descobrir a impedância total de um circuito RL em série usando esta fórmula:

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

Semelhantemente, para um circuito RC em série, a impedância total é

$$Z_C = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$$

Então, como você *usa* essas fórmulas aterrorizantes? Bem, se quiser usar a Lei de Ohm para calcular a corrente através de um circuito RL ou RC em série quando aplica um sinal de entrada de uma frequência específica, você pode calcular a impedância total do circuito nessa frequência, e depois aplicar a Lei de Ohm usando a impedância para calcular o valor de pico da corrente que passa no circuito para uma frequência específica:

$$I_{pico} = \frac{V_{pico}}{Z_L}$$

Se você tem um circuito com um resistor, um capacitor e um indutor, todos em série (um tipo de *circuito RLC*), a fórmula de impedância é mais complicada, pois a reatância total do circuito (X_T) é a *diferença* entre a reatância indutiva, XL, e as reatâncias capacitivas, X_C ($X_T = X_L - X_C$). Para arranjos em paralelo de resistores e indutores, ou resistores e capacitores, a fórmula de impedância é até mais complicada, mas relaxe; não vamos levar você por essa trilha neste livro.

Sintonizando Transmissões de Rádio

Os indutores são filtros passa-baixo naturais, e os capacitores são filtros passa-alto naturais. Então, o que acontece quando você coloca os dois no mesmo circuito? Como você pode perceber, os indutores e os capacitores são frequentemente usados juntos em circuitos de sintonia para sintonizar a frequência de transmissão de uma emissora de rádio específica.

Ressoando com circuitos RLC

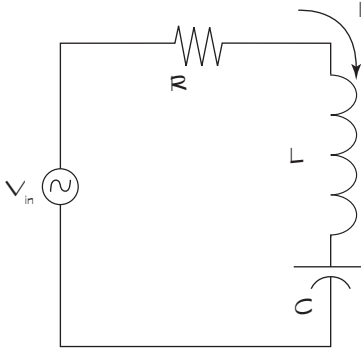
Veja o circuito RLC na Figura 5-6. A impedância total deste circuito pode ser encontrada usando-se a seguinte (e *realmente* aterrorizante) fórmula:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2} \end{aligned}$$

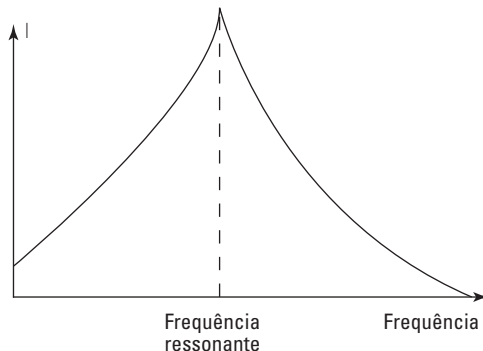
Não se preocupe com o quanto a fórmula parece ser assustadora. Apenas repare em uma coisa nesta fórmula: se $X_L = X_C$, a impedância total torna-se a raiz quadrada de R^2, que é apenas R, ou, apenas a resistência. Em outras palavras, quando $X_L = X_C$, a reatância indutiva e a reatância capacitiva *cancelam-se mutuamente*; é quase como se houvesse apenas um resistor no circuito. Isso acontece em uma frequência conhecida como *frequência ressonante*. A frequência ressonante é o valor da frequência, f, que faz $X_L = X_C$ para uma dada combinação de indutância (L) e capacitância (C).

Então, qual a importância da frequência ressonante? Bem, algo especial acontece, estando nessa frequência, que não acontece em nenhuma outra. Em frequências acima e abaixo da ressonante, há alguma reatância geral no circuito somando-se à oposição do resistor ao fluxo de corrente. Para frequências muito baixas, o capacitor exibe uma reatância alta; para frequências muito altas, o indutor exibe uma reatância baixa. Então, para sinais de baixa frequência, o capacitor bloqueia o fluxo da corrente; para altas frequências, é o indutor que bloqueia esse fluxo. Na frequência ressonante, a reatância geral é zero, e parece que só a resistência se opõe ao fluxo da corrente. Diz-se que o circuito *ressoa* em uma frequência

específica, e isso é conhecido como *circuito ressonante*. A Figura 5-7 mostra um gráfico de frequência da corrente que passa no circuito; note que a corrente está no ponto mais alto na frequência ressonante.

Figura 5-6: Um circuito RLC tem uma frequência ressonante, na qual a reatância total é zero.

Os receptores de rádio usam circuitos RLC para permitir que apenas uma frequência passe pelo circuito. Isso é conhecido como sintonizar-se na frequência e, usado dessa forma, o circuito é conhecido como *circuito de sintonia*. Um capacitor variável é usado para ajustar a frequência ressonante para que você possa sintonizar-se em diferentes emissoras que transmitem em diferentes frequências. O botão que permite que a capacitância seja modificada é conectado ao botão de controle de sintonia do seu rádio.

Trocando um pouco o lugar dos componentes, colocando o indutor em paralelo com o capacitor, você cria um circuito que produz a corrente *mínima* na frequência ressonante. Esse tipo de circuito ressonante "dessintoniza-se" dessa frequência, permitindo que todas as outras passem, e é usado para criar *filtros passa-faixa*. Você pode encontrar um circuito como esse filtrando e retirando o chiado de 60 Hz que equipamentos eletrônicos às vezes captam de uma linha de transmissão de energia próxima.

Figura 5-7: A corrente em um circuito RLC em série é mais alta na frequência ressonante.

Garantindo ressonâncias sólidas como pedra com cristais

Este é o símbolo de um cristal, abreviado por XTAL. Se você fatiar um cristal de quartzo da maneira certa, conectar-lhe dois terminais, envolvê-lo em uma cápsula hermeticamente lacrada, você criou um só componente que age como um 'combo' RLC em um circuito RLC, ressoando em uma frequência específica. Os *cristais de quartzo*, ou simplesmente *cristais*, são usados em circuitos para gerar um sinal elétrico em uma frequência muito precisa.

Os cristais funcionam devido a algo chamado *efeito piezoelétrico*: se você aplicar uma voltagem da forma correta através de um cristal de quartzo, ele vibrará em uma frequência específica, conhecida como frequência ressonante. Se você, então, remover a voltagem aplicada, o cristal continua a vibrar até acomodar-se em sua forma anterior. Ao vibrar, ele gera uma voltagem na frequência ressonante.

Você pode estar familiarizado com os captadores piezoelétricos de guitarras, as quais usam cristais para converter a vibração mecânica gerada pelas cordas da guitarra em sinais eletrônicos, e que são, depois, amplificados. E se você é anterior à tecnologia dos *compact discs* (CDs), pode achar interessante saber que as agulhas fonográficas contavam com o efeito piezoelétrico para converter o sobe e desce de uma faixa gravada em vinil em energia elétrica.

A frequência na qual o cristal ressoa depende de sua espessura e tamanho, e você encontra cristais com frequências ressonantes variando de algumas dezenas de quilo-hertz a dezenas de mega-hertz. Os cristais são mais precisos e mais confiáveis do que combinações de capacitores e indutores, mas há um porém: eles costumam ser mais caros. Você encontrará cristais usados em circuitos chamados *osciladores* para gerar sinais elétricos em uma frequência muito precisa. Os osciladores são responsáveis pelos tiques e taques que controlam os relógios de pulso de quartzo e circuitos integrados (que discutiremos no Capítulo 7), e por controlar a precisão de equipamentos de rádio.

A precisão de um cristal de quartzo está em uma margem de 0,001% do valor indicado de frequência ressonante. É por isso que vale a pena pagar umas pratas a mais por eles! Você também pode ouvir falar em ressonador cerâmico, o qual funciona da mesma forma, mas custa menos e não é tão preciso quanto o quartzo. Os ressonadores cerâmicos têm uma tolerância de frequência de 0,5% acima ou abaixo de sua frequência ressonante indicada – e são usados em muitos dispositivos eletrônicos de consumo, tais como TVs, câmeras e brinquedos.

Influenciando a Bobina Vizinha: Transformadores

Indutores usados em circuitos de sintonia são blindados para que o campo magnético que produzem não interaja com outros componentes do circuito. Bobinas sem blindagem são, às vezes, colocadas próximas umas das outras, propositadamente para permitir que seus campos magnéticos interajam. Nesta seção, descrevemos como bobinas sem blindagem interagem – e como você pode explorar a interação entre elas para fazer algumas coisas úteis com um dispositivo eletrônico conhecido como *transformador*.

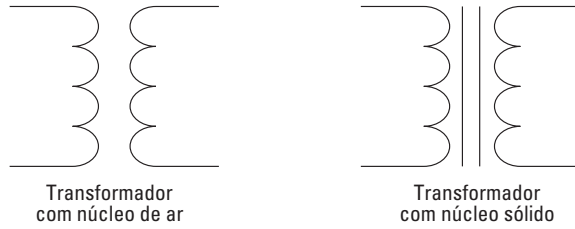
Deixando bobinas sem blindagem interagirem

Quando você coloca duas bobinas sem blindagem próximas uma da outra, o campo magnético variável criado como resultado da passagem de AC por uma bobina *induz uma voltagem nessa bobina assim como na outra. Indutância mútua* é o termo usado para descrever o efeito de induzir uma voltagem em outra bobina, enquanto autoindutância refere-se ao efeito de induzir uma voltagem na mesma bobina que produziu inicialmente o campo magnético variável. Quanto mais próximas as bobinas estiverem, mais forte será a interação. A indutância mútua pode somar-se ou opor-se à autoindutância de cada bobina, dependendo de como você combina os polos norte e sul dos indutores.

Se você tem uma bobina sem blindagem em um circuito, e a coloca próxima à outra, em outro circuito, elas interagirão. Passando uma corrente por uma bobina, você fará uma voltagem ser induzida na bobina vizinha – mesmo que ela esteja em um circuito separado, não conectado. Isso é conhecido como *ação de transformador*.

Um *transformador* é um dispositivo eletrônico que consiste em duas bobinas enroladas em torno do mesmo material de núcleo, de tal forma, que a indutância mútua é maximizada. A corrente que passa por uma bobina, conhecida como *primário*, induz uma voltagem na outra, conhecida como *secundário*. A função de um transformador é transferir energia elétrica de um circuito a outro.

Os símbolos de circuito para transformadores com núcleo de ar e transformadores com núcleo sólido, respectivamente, são mostrados na Figura 5-8.

Figura 5-8: Os símbolos de circuito para transformadores com núcleo de ar e transformadores com núcleo sólido.

Isolando circuitos de uma fonte de energia

Se o número de voltas de um fio no enrolamento primário de um transformador for igual ao número de voltas no enrolamento secundário, teoricamente, toda a voltagem através do primário será induzida através do secundário. Isso é conhecido como *transformador 1:1* porque há uma relação 1:1 (lê-se "um-a-um") entre as duas bobinas. Na realidade, nenhum transformador é perfeito, ou sem perdas, e alguma parte da energia elétrica se perde no caminho.

Os transformadores 1:1 também são conhecidos como *transformadores de isolamento*, e são comumente usados para separar eletricamente dois circuitos enquanto permitem que a alimentação ou um sinal AC de um seja inserido no outro. O primeiro circuito geralmente contém a fonte de alimentação, e o segundo circuito contém a carga. No Capítulo 1, definimos a carga como o destino da energia elétrica, ou aquilo que você essencialmente quer que funcione, tal como o diafragma de um alto-falante. Você pode querer isolar circuitos para reduzir o risco de choques elétricos ou para evitar que um circuito interfira no outro.

Degrau acima e degrau abaixo nas voltagens

Se o número de voltas do enrolamento primário de um transformador não for o mesmo que o do enrolamento secundário, a voltagem induzida no secundário será diferente da voltagem através do primário. As duas serão proporcionais uma à outra, com a proporção determinada pela razão do número de voltas do secundário para o número de voltas do primário, conforme segue:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Nesta equação, V_S é a voltagem induzida no secundário, V_P é a voltagem através do primário, N_S é o número de voltas do secundário, e N_P é o número de voltas do primário.

Digamos, por exemplo, que o secundário consista de 200 voltas de fio – o dobro do primário, que consiste de 100 voltas de fio. Se você aplicar uma voltagem AC com valor de pico de 50 V ao primário, a voltagem de pico induzida através do secundário será 100 V, ou o dobro do valor da voltagem de pico através do primário. Esse tipo de transformador é conhecido como *transformador elevador* (*step-up transformer*), pois ele eleva a voltagem do primário para o secundário.

Se, em vez disso, o secundário consistir de 50 voltas de fio, e o primário consistir de 100 voltas, o mesmo sinal AC aplicado ao primário terá um resultado diferente: a voltagem de pico através do secundário será de 25 V, ou metade da voltagem do primário. Isso é conhecido como *transformador rebaixador* (*step-down transformer*), por motivos óbvios.

Em cada caso, a potência aplicada ao enrolamento primário é transferida ao secundário. Uma vez que a potência é o produto da voltagem e da corrente (P=V x I), a *corrente* induzida no enrolamento secundário é inversamente proporcional à *voltagem* induzida no secundário. Um transformador elevador eleva a voltagem ao mesmo tempo em que rebaixa a corrente; um transformador rebaixador rebaixa a voltagem ao mesmo tempo em que eleva a corrente.

Transformadores elevadores e rebaixadores são usados em sistemas de transmissão de energia elétrica. A eletricidade gerada em uma usina elétrica é elevada a voltagens de 110 kV (1 kV = 1.000 V) ou mais, transportada por longas distâncias a uma subestação, e depois rebaixada a voltagens inferiores para ser distribuída aos consumidores.

Capítulo 6

O Grande Mundo dos Semicondutores

Neste Capítulo:

- Dando uma espiada dentro de um semicondutor
- Fundindo dois ou mais semicondutores para formar diodos e transistores
- Deixando a corrente fluir para cá, e não para lá, com os diodos
- Entendendo a ação do transistor
- Usando transistores como minúsculos interruptores
- Dando um impulso extra aos sinais, com os transistores

Os semicondutores estão no coração de quase todos os principais sistemas eletrônicos que existem hoje, do marcapasso programável aos ônibus espaciais. É incrível pensar que esses minúsculos semicondutores são responsáveis por ativar enormes avanços na medicina moderna, exploração espacial, automação industrial, sistemas de entretenimento doméstico, comunicações e uma série de outros ramos

Os diodos semicondutores e transistores usados para conduzir ou bloquear a corrente elétrica dependem de como você os controla eletricamente. Eles possibilitam que a corrente flua em uma direção, mas não em outra, e amplifique pequeninos sinais – tarefas que a média dos componentes eletrônicos passivos não podem realizar.

Este capítulo passeia pelo interior dos materiais semicondutores, mostra como fazê-los conduzir corrente, e explora novas formas de combinar semicondutores para criar diodos e transistores. Em seguida, você dará uma olhada no comportamento dos diodos, parecido com o de válvulas (e ficará sabendo como explorar esse comportamento em circuitos), e, em seguida, uma espiada na forma como os transistores trabalham e por que eles são tão populares. E depois, *voilà* – o palco estará pronto para a eletrônica dos tempos modernos.

Estamos Conduzindo ou Não Estamos?

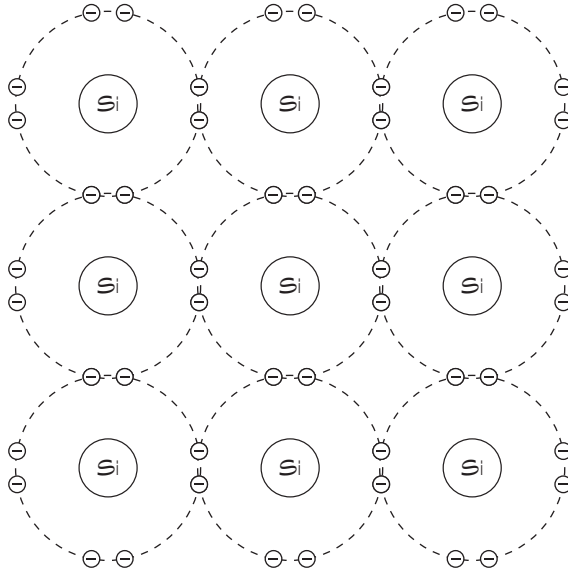
Em algum ponto entre os isolantes e os condutores estão os materiais, os quais parecem não se decidir sobre agarrar-se a seus elétrons ou deixá-los circular livremente. Esses *semicondutores* se comportam como condutores sob algumas condições e isolantes sob outras, o que lhes dá capacidades únicas. Com um dispositivo feito de materiais semicondutores, como o silício e germânio, você pode controlar com precisão o fluxo de portadores de carga elétrica em uma área do dispositivo, ajustando uma voltagem em outra área do dispositivo.

Você usa diodos semicondutores para permitir que a corrente flua em uma direção, enquanto bloqueia seu fluxo em outra direção, como uma válvula antirrefluxo. Os transistores permitem que você ligue e desligue o fluxo de elétrons (corrente), e controle a força da corrente maior, ajustando uma corrente menor. Essas capacidades de controle de corrente permitem um bocado de funções eletrônicas complexas, incluindo a amplificação de sinais elétricos, a *retificação* (conversão de AC em DC), e o direcionamento da corrente. E as qualidades de baixo consumo energético e tamanho microscópico dos dispositivos semicondutores permitem a você convergir todas essas complexas funções de controle para os dispositivos minúsculos e de baixo consumo, os quais revolucionaram a eletrônica moderna.

Os átomos de um material semicondutor alinham-se de forma estrutural, formando um padrão muito regular e tridimensional – um cristal – como mostra a Figura 6-1. Os átomos dentro do cristal mantêm-se unidos por uma ligação especial, chamada *ligação covalente*, em que cada átomo partilha seus elétrons mais externos (conhecidos como *elétrons de valência*) com seus vizinhos. (Compartilhar, que coisa maravilhosa!) Isso é, mais ou menos, como dois vizinhos cujas garagens compartilham o mesmo acesso à rua: Cada um se comporta como se o acesso fosse exclusivamente seu (exceto quando há uma grande nevasca).

Precisamente por causa dessas ligações pegajosas e de compartilhamento de elétrons que o cristal semicondutor age como um isolante na maior parte do tempo. Cada átomo pensa que tem mais elétrons de valência do que realmente tem e esses elétrons se comportam como parte de uma grande e feliz família, sem necessidade de sair por aí à procura de outro átomo. Isto é muito diferente do átomo condutor típico, que geralmente tem apenas um elétron de valência, e esse solitário elétron é muito suscetível a sair de casa e vagar por aí. Mas há algo que você pode fazer com um semicondutor puro e que muda as propriedades elétricas do material: dopá-lo. Não, não bagunce o cérebro dele com substâncias ilegais; apenas acrescente um material que faz com que os elétrons fluam de forma diferente. Mais sobre isso daqui a pouco.

O restante desta seção falará um pouco sobre a teoria que fundamenta a física dos semicondutores. Essa informação é útil, mas você não precisa dela para entender como os componentes semicondutores funcionam. Se você pular direto para a seção “Formando um diodo de junção”, mais à frente neste capítulo, ainda lerá o que necessita para usar semicondutores em circuitos.

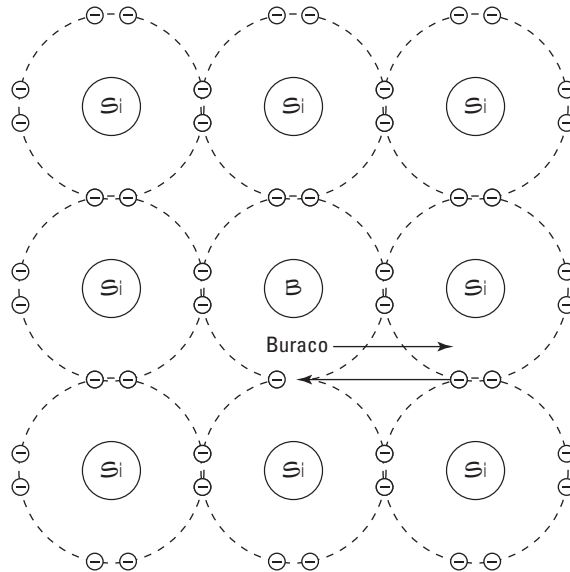
Figura 6-1: Os materiais semicondutores, como o silício, contêm fortes ligações covalentes que mantêm os átomos unidos em uma estrutura cristalina.

Dopando os semicondutores

Se você adicionar impurezas (no sentido de diferentes tipos de átomos, esquecendo a sujeira e o pó) a um material semicondutor puro, como o silício, você cria um caos no recinto das ligações. Esse processo é conhecido como *dopagem*, e as impurezas são chamadas de *dopantes*. O arsênico e o boro são dois dopantes comumente usados para dopar o silício puro.

Os dopantes são espertos: eles tentam se disfarçar de um dos átomos de cristal, tentando ligar-se aos outros átomos, mas são diferentes o suficiente para causar mudanças. Por exemplo, um átomo de arsênico tem um elétron externo a mais do que um átomo de silício. Quando você adiciona uma pequena quantidade de arsênico em um bando de átomos de silício, cada átomo de arsênico entra no grupo à força, ligando-se aos átomos de silício, mas deixando seu elétron "a mais" circulando solto pelo cristal. Embora o material dopado seja eletricamente neutro, ele agora contém um bando de elétrons "livres" vagando a esmo – tornando-o muito mais condutivo. Ao dopar o silício, você modifica suas propriedades elétricas: qualquer que seja o dopante adicionado, o silício se torna mais condutivo.

Outra forma de dopar semicondutores é usar materiais como o boro, no qual cada átomo tem um elétron de valência *a menos* do que um átomo de silício. Para cada átomo de boro que você adicionar a um cristal de silício, você obterá o que é conhecido como um *buraco* na estrutura cristalina onde um elétron exterior deveria estar. Onde quer que haja um buraco na estrutura, a ligação que une os átomos é tão forte, que "rouba" um elétron de outro átomo para preencher o buraco, deixando um buraco em outro lugar, que é, então, preenchido por outro elétron, e assim por diante. Você pode pensar nisso como um buraco se movendo dentro do cristal, como

ilustra a Figura 6-2. Na verdade, são os elétrons que estão se movendo, mas parece que a posição do buraco é que vai se movendo. Uma vez que cada buraco representa um elétron em falta, o movimento dos buracos tem o mesmo efeito que um fluxo de cargas positivas.

Figura 6-2: Toda vez que um elétron de um átomo vizinho preenche um buraco em uma ligação covalente, parece que o buraco está se movendo na direção oposta.

As impurezas que liberam elétrons (cargas negativas) para se mover em um semicondutor são chamadas *dopantes doadores*, e o semicondutor dopado é conhecido como *semicondutor tipo N*. O arsênico é um típico dopante doador.

As impurezas (como o boro) que liberam buracos (como cargas positivas) para se mover em um semicondutor são chamadas de *dopantes receptores*, e o semicondutor dopado é conhecido como *semicondutor tipo P*. O boro é um típico dopante receptor.

Combinando tipos N e tipos P para criar componentes

Se você aplicar uma fonte de voltagem através de um semicondutor tipo N ou tipo P, os elétrons mover-se-ão no material e a corrente fluirá da voltagem negativa para a positiva. Em semicondutores tipo P, você verá isso descrito como um movimento de buracos da voltagem positiva para a voltagem negativa. Até aqui, tudo bem: os semicondutores dopados estão simplesmente agindo como condutores, e você poderia simplesmente usar um fio de cobre para causar o mesmo efeito.

Mergulhando em uma junção PN

Para entender realmente os motivos da corrente fluir ou não quando se aplica voltagens através de uma junção PN, você precisa mergulharemos um pouco mais a fundo na física que jaz abaixo da superfície da junção. Embora não vamos mergulhar muito a fundo aqui, diremos em que direção os buracos serão empurrados no material tipo P, em qual direção os elétrons serão empurrados no material tipo N, e como os buracos e elétrons às vezes se recombinam na junção.

Mesmo sem voltagem externa aplicada, ainda há uma pequena diferença de voltagem através da junção. Essa voltagem é causada pelos buracos e elétrons que se encontram na junção, atravessam para o outro lado, e recombinam-se (o que significa que um elétron preenche um buraco). Isto deixa a região em qualquer lado da junção com uma carga líquida: no lado P da junção, a carga líquida é negativa; no lado N, é positiva. Então, há uma diferença de carga (isto é, uma pequena voltagem) através da junção. Essa voltagem se opõe à continuação do fluxo de buracos e elétrons através da junção.

Conectando o terminal positivo de uma bateria ao material tipo P e o terminal negativo da bateria ao material tipo N, você empurra os buracos pelo material tipo P em direção à junção, e empurra os elétrons pelo material tipo N em direção à junção. Se você enviar o suficiente desses dois tipos de carga em direção à junção, você superará a pequena voltagem que já existe ali: os buracos atravessarão para o material tipo N, e os elétrons para o material tipo P. A voltagem de alimentação externa segue empurrando as cargas em direção à junção, por isso as cargas seguem atravessando a junção. O efeito líquido dos buracos movendo-se em uma direção e dos elétrons movendo-se na outra é uma corrente. A corrente convencional (movimento de cargas positivas) move-se do terminal positivo da bateria pelo material tipo P, através da junção e pelo material tipo N em direção ao terminal negativo da bateria.

Se você conectar a bateria na outra direção, o terminal negativo atrairá os buracos do material tipo P, afastando-os da junção. Isso, na verdade, fortalece a voltagem já existente através da junção, tornando ainda mais difícil o fluxo da corrente. Se a voltagem de alimentação externa for forte o suficiente, a corrente poderá acabar sendo forçada a fluir — na direção contrária, através da junção. A voltagem na qual isso acontece é chamada de tensão de ruptura (breakdown voltage), e é esse processo de ruptura que faz o *diodo Zener* funcionar.

As coisas começam a ficar complicadas quando você funde um semicondutor tipo N e um semicondutor tipo P, e aplica uma voltagem através dessa *junção PN*. Se uma corrente flui ou não, depende da direção em que você aplica a voltagem. Se você conectar o terminal positivo de uma bateria ao material tipo P, e o terminal negativo ao material tipo N, a corrente fluirá (contanto que a voltagem aplicada exceda um mínimo). Mas se você inverter a bateria, a corrente não fluirá (a não ser que você aplique uma voltagem muito grande).

A forma como esses semicondutores tipo N e tipo P são combinados determina o tipo de dispositivo semicondutor que eles se tornarão – e o modo como permitem que a corrente flua (ou não) quando a voltagem é

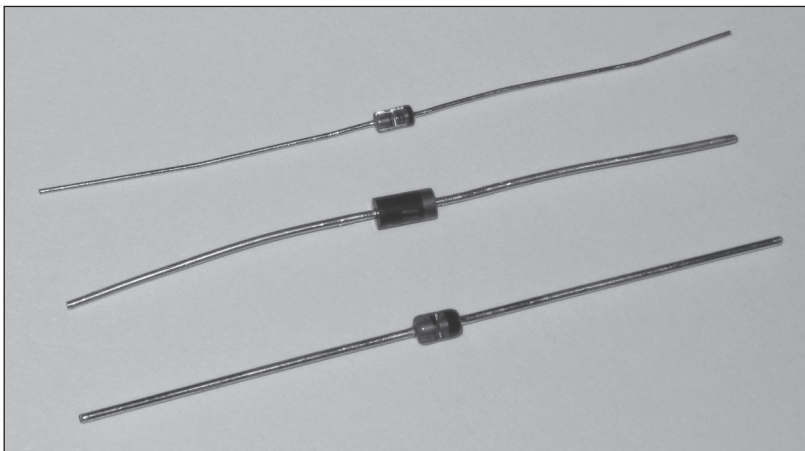
aplicada. A junção PN é a fundação da eletrônica do *estado sólido*, ao qual envolve os dispositivos eletrônicos feitos de materiais sólidos, que não se movem, em vez de tubos de vácuo e dispositivos com partes móveis (como as fitas e discos mecânicos usados para armazenar informações em computadores). Os semicondutores substituíram largamente os tubos de vácuo na eletrônica.

Formando um Diodo De Junção

Um *diodo* semicondutor é um dispositivo eletrônico de dois terminais que consiste em apenas uma junção PN. O símbolo de diodo em circuitos é mostrado aqui. Os diodos agem como válvulas de mão única, permitindo que a corrente flua em apenas uma direção quando uma voltagem é aplicada a eles. Essa capacidade às vezes é chamada de propriedade *retificadora*.

Vamos nos referir ao lado P de uma junção PN de um diodo como o *ânodo*, e ao lado N como o *cátodo*. No símbolo de circuito acima, o ânodo está à esquerda (a parte larga da cabeça da flecha) e o cátodo está à direita (o segmento de linha vertical curto). A maioria dos diodos permite que a corrente flua do ânodo para o cátodo. Os diodos Zener são uma exceção; para saber detalhes, olhe mais à frente neste capítulo em "Regulando a voltagem com diodos Zener". Você pode pensar na junção dentro de um diodo como um morro, e na corrente como uma bola que está tentando mover de um lado do morro para o outro. É fácil empurrar a bola morro abaixo (do ânodo para o cátodo), mas é muito difícil empurrar a bola morro acima (do cátodo para o ânodo).

Os diodos são cilíndricos, como os resistores, mas não tão coloridos quanto os resistores. A maioria dos diodos exibe uma faixa ou outra marca em uma das pontas, o que significa o cátodo. A Figura 6–3 mostra alguns diodos.

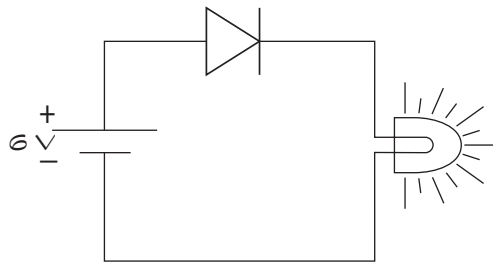
Figura 6-3: Os diodos são parecidos, em tamanho e forma, com os resistores, mas incluem apenas uma faixa indicando o cátodo.

Aplicando polarização ao diodo

Em eletrônica, o termo *polarização* refere-se a uma voltagem ou corrente DC estável aplicada a um dispositivo eletrônico ou circuito, para fazê-lo operar de uma certa forma. Dispositivos como diodos e transistores (que traremos mais à frente neste capítulo) são dispositivos não lineares: isto é, a relação entre a voltagem e a corrente nesses dispositivos não é constante. Ela passa por diferentes variações de voltagens e circuitos. Eles não são como os resistores, que exibem uma relação linear (constante) entre voltagem e corrente.

Ao aplicar uma polarização em um diodo, aplica-se uma voltagem, conhecida como *tensão de polarização*, através do diodo (do ânodo para o cátodo) de modo que o diodo permita que a corrente flua do ânodo para o cátodo ou impeça a corrente de fluir. Esses dois modos básicos de operação de um diodo padrão são conhecidos como *polarização direta* (condutora) e *polarização inversa* (não condutora).

Você *polariza diretamente* um diodo – ou seja, faz com que ele conduza corrente – aplicando uma voltagem positiva do ânodo para o cátodo de modo que o diodo "ligue" (conduza corrente). Essa voltagem de ligação mínima é conhecida como *tensão direta*, e seu valor depende do tipo de diodo. Um diodo de silício típico tem uma tensão direta de cerca de 0,6 a 0,7 V, enquanto as tensões diretas dos diodos que emitem luz (os LEDs, da sigla em inglês) variam de 1,5 V a 4,6 V (dependendo da cor). Verifique os valores nominais nos diodos específicos que você usar em circuitos. Quando o diodo é diretamente polarizado, a corrente, conhecida como *corrente direta*, flui facilmente através da junção PN, do ânodo ao cátodo. Você pode aumentar a quantidade de corrente que flui no diodo (até a corrente máxima que ele aguenta com segurança), mas a tensão direta não irá variar tanto.

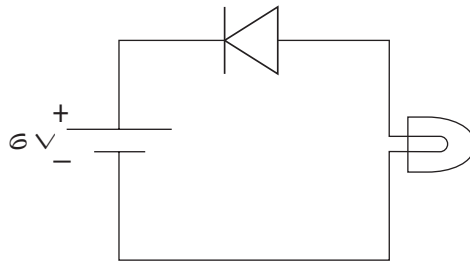
A Figura 6–4 mostra um diodo diretamente polarizado, permitindo que a corrente flua através da luminária.

Figura 6-4: A bateria polariza diretamente o diodo neste circuito, permitindo que a corrente flua através de uma luminária.

Você *polariza inversamente* um diodo quando aplica uma *tensão inversa* (uma voltagem negativa do ânodo ao cátodo) através do diodo, proibindo a corrente de fluir, como mostra a Figura 6–5. Na verdade, uma pequena quantidade de corrente, na faixa dos μA, fluirá. Se a tensão inversamente

polarizada exceder um certo nível (geralmente 50 V ou mais), o diodo "se rompe" e uma *corrente inversa* começa a fluir do cátodo para o ânodo. A tensão inversa, na qual o diodo se rompe, é conhecida como *tensão inversa de pico* (PIV – *peak inverse voltage*) ou *tensão reversa de pico* (PRV – *peak reverse voltage*).

Não é comum polarizar um diodo inversamente de propósito (a não ser que você esteja usando um diodo Zener, que descreveremos na seção "Regulando a voltagem com o diodo Zener", mais à frente neste capítulo). Você pode, acidentalmente, polarizar inversamente um diodo orientando-o de forma incorreta em um circuito (ver a seção "Qual o lado de cima?" mais à frente neste capítulo), mas não se preocupe: você não machucará o diodo, e pode simplesmente reorientá-lo. Mas se você exceder a PRV, pode permitir que flua muita corrente inversa, o que, provavelmente, irá danificar outros componentes do circuito.

Se nenhuma voltagem, ou uma voltagem baixa (menor do que a voltagem direta), for aplicada em um diodo, ele estará *despolarizado*. Isso não significa que o diodo seja indeciso, apenas que você ainda não tomou providências sobre como usá-lo.

Figura 6-5: Uma vez que o diodo deste circuito seja inversamente polarizado, ele agirá como uma válvula fechada, proibindo o fluxo de corrente no circuito.

Conduzindo corrente através de um diodo

Após a corrente começar a fluir no diodo, a queda de tensão direta através dele permanece bem constante – mesmo que você aumente a corrente direta. Por exemplo, a maioria dos diodos de silício tem uma tensão direta de 0,6 V a 0,7 V com uma ampla variedade de correntes diretas. Se você estiver analisando um circuito, o qual contém um diodo de silício (como o circuito da Figura 6–4), você pode considerar que a queda de voltagem através do diodo é de cerca de 0,7 V – mesmo que você aumente a voltagem da fonte de 6 V para 9 V. Aumentar a voltagem da fonte também aumenta a corrente no circuito, mas a queda de voltagem no diodo permanece a mesma, então, a voltagem aumentada da fonte tem sua queda através da luminária.

É claro que todos os componentes eletrônicos têm seu limite. Se você aumentar demais a corrente através de um diodo, gerará um bocado de calor dentro dele. Em um determinado momento, a junção será danificada por todo esse calor; portanto, você tem que tomar cuidado para não aumentar demais a voltagem da fonte.

Classificando seu diodo

A maioria dos diodos não tem, realmente, valores, como os resistores e capacitores. Um diodo simplesmente faz sua parte controlando o ligar/desligar do fluxo de elétrons, sem alterar a forma ou o tamanho deste fluxo. Mas isso não quer dizer que todos os diodos sejam iguais. Diodos-padrão são classificados de acordo com dois critérios principais: tensão inversa de pico (PRV) e corrente. Esses critérios guiam você na escolha do diodo certo para um circuito específico, conforme segue:

- O **valor nominal de PRV** lhe diz qual a tensão inversa máxima que o diodo pode aguentar antes de se romper. Por exemplo, se o diodo traz um valor nominal de 100 V, você não deve usá-lo em um circuito que aplica mais do que 100 V no diodo. Os projetistas de circuitos incluem uma "folga" considerável acima do valor nominal de PRV para acomodar altas na voltagem e outras circunstâncias. Por exemplo, é comum a prática de usar um diodo retificador de 1.000 PRV em circuitos de fonte de alimentação que operam a 120 VAC.
- O **valor nominal da corrente** lhe diz qual a corrente direta máxima que o diodo pode suportar sem sofrer danos. Um diodo com valor nominal de 3A não pode conduzir com segurança mais do que 3A, sem superaquecer e falhar.

Identificando-se com os diodos

A maioria dos diodos, na América do Norte, é identificada por códigos de cinco ou seis dígitos, os quais fazem parte do sistema de identificação padrão da indústria. Os primeiros dois dígitos são sempre "1N" nos diodos; o "1" especifica o número de junções PN, o "N" significa semicondutor, e os três ou quatro dígitos restantes indicam recursos específicos do diodo. Um exemplo clássico é a série dos diodos retificadores identificados como 1N40*xx*, onde *xx* poderia ser 00, 01 e assim por diante, até 08. Esses diodos têm corrente nominal de 1 ampere, com PRVs nominais variando de 50 V a 1.000 V, dependendo do número *xx*. Por exemplo, o diodo retificador 1N4001 tem os valores nominais de 1 A e 50 V, e o 1N4008 tem valores nominais de 1A e 1.000V. Diodos da série 1N54*xx* têm corrente nominal de 3 A com PRVs nominais de 50 a 1.000 V. Você encontra rapidamente essas informações em qualquer catálogo de componentes eletrônicos ou em livros de referência cruzada sobre dados de diodos, geralmente encontrado online. Um *livro de referência cruzada* diz quais componentes podem ser substituídos por outros, caso um componente especificado em um diagrama não esteja disponível onde você costuma comprar.

Só para deixar as coisas mais interessantes (para não dizer, confusas), alguns diodos usam em suas cápsulas o mesmo esquema de código de cores que os resistores, mas, em vez de traduzir o código em um valor (como resistência), o código de cor simplesmente dá o número de identificação de semicondutor do diodo. Por exemplo, a sequência de cores "marrom-laranja-vermelho" indica a sequência numérica "1-3-2," portanto, trata-se de um diodo de germânio 1N132. Consulte o código de cores dos resistores no Capítulo 3.

Qual o lado de cima?

Quando você usa um diodo em um circuito, é extremamente importante orientá-lo da forma certa (mais sobre isso em um minuto). A faixa ou outra indicação na cápsula corresponde ao segmento de linha no símbolo de diodo: ambos indicam o cátodo, ou o terminal negativo, do diodo.

Você pode determinar o lado medindo a resistência do diodo (antes de inseri-lo em seu circuito) com um ohmímetro ou um multímetro (que discutiremos no Capítulo 12). O diodo tem uma resistência baixa quando é polarizado diretamente, e uma resistência alta quando é polarizado inversamente. Aplicando o terminal positivo de seu medidor ao ânodo e o terminal negativo ao cátodo, seu medidor está, essencialmente, polarizando diretamente o diodo (porque, quando usado para medir resistência, o multímetro aplica uma pequena voltagem através de seus terminais). Você pode medir a resistência duas vezes, ao aplicar os terminais primeiro em uma direção, e depois na outra. A medição mais baixa indica a condição diretamente polarizada.

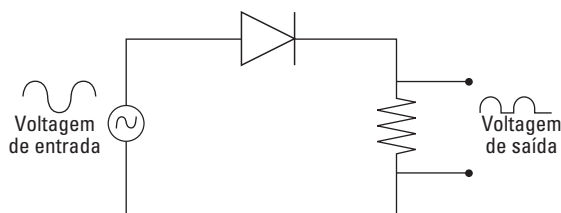
Os diodos são válvulas de mão única, que deixam a corrente fluir apenas em uma direção. Se você inserir um diodo invertido em um circuito, este não funcionará (porque a corrente não fluirá) ou poderá danificar alguns componentes (porque você pode exceder as tensões inversas de pico [PRV] e permitir que a corrente flua inversamente – o que poderá danificar componentes, como os capacitores eletrolíticos). Observe sempre a orientação do diodo ao usá-lo em um circuito, verificando duas vezes para garantir que você acerte!

Usando Diodos em Circuitos

Você encontrará diversas formas de diodos semicondutores criados para várias aplicações em circuitos eletrônicos.

Retificando a AC

A Figura 6–6 mostra um circuito com um diodo de silício, um resistor e uma fonte de alimentação AC. Observe a orientação do diodo no circuito: seu ânodo (lado positivo) está conectado à fonte de alimentação. O diodo conduz corrente quando é diretamente polarizado, mas não conduzirá, se for inversamente polarizado. Quando uma fonte AC é positiva (e fornece, no mínimo, 0,7 V para polarizar diretamente o diodo de silício), o diodo conduz corrente; quando a fonte AC é menor do que 0,7 V, o diodo não conduz corrente. A voltagem de saída é uma versão cortada da voltagem de entrada; apenas a porção do sinal de entrada que for maior do que 0,7 V chegará até a saída.

Figura 6-6: O diodo neste circuito "corta" a metade negativa da voltagem da fonte AC.

Se a orientação do diodo for invertida no circuito, acontecerá o oposto: somente a parte negativa da voltagem de entrada chegará até a saída.

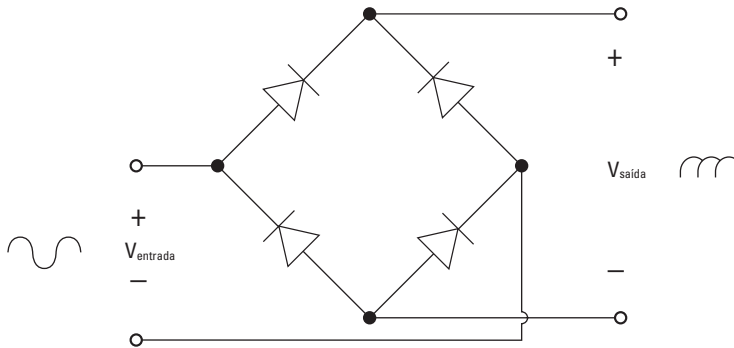
- Quando a voltagem de entrada é positiva, o diodo é polarizado inversamente e não flui corrente nenhuma.
- Quando a voltagem de entrada é suficientemente negativa (no mínimo -0,7 V), o diodo é polarizado diretamente e a corrente flui.

Diodos usados dessa forma – para converter corrente AC em corrente DC variável (é DC porque a corrente flui apenas em uma direção, mas não é uma corrente constante) – são chamados de *diodos retificadores*, ou apenas *retificadores*. geralmente eles suportam correntes de várias centenas de miliamperes a até alguns amperes – forças muito mais altas do que os *diodos de sinal* de uso geral são feitos para aguentar (as correntes destes chegam apenas a cerca de 100 mA). Você verá retificadores usados de duas formas principais:

- **Retificação de meia onda**: Usar apenas um diodo retificador para cortar um sinal AC é conhecido como *retificação de meia onda* por converter metade do sinal AC em DC.

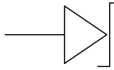
- **Retificação de onda completa**: Dispondo quatro diodos em um circuito conhecido como *retificador em ponte*, você pode converter o sobe e desce de uma voltagem AC apenas em "sobe" (conforme mostra a Figura 6-7). Esse processo, conhecido como *retificação de onda completa*, é o primeiro estágio dos circuitos de uma *fonte de alimentação linear*, o qual converte a alimentação AC em uma fonte de alimentação DC estável.

Retificadores em ponte são tão populares, que você pode comprá-los como uma peça única de quatro terminais: dois deles para a entrada AC e dois para a saída DC.

Figura 6-7: Em um retificador em ponte, quatro diodos transformam a corrente AC em uma corrente DC variável.

Regulando a voltagem com diodos Zener

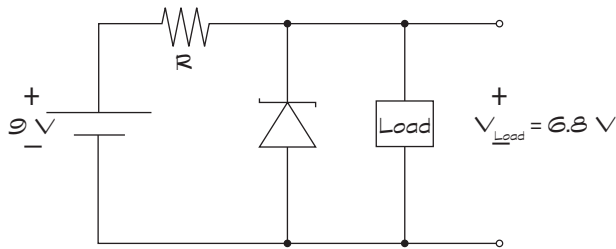
Diodos Zener são diodos especiais feitos para se romperem. Eles, na verdade, são apenas diodos fortemente dopados que se rompem em voltagens muito mais baixas do que os diodos padrão. Quando você polariza inversamente um diodo Zener, e a voltagem através dele atinge ou excede sua tensão nominal de ruptura, o diodo Zener começa, repentinamente, a conduzir corrente para trás através do diodo (do cátodo para o ânodo). Conforme você continua a aumentar a voltagem, inversamente polarizada além do ponto de ruptura, o Zener continua a conduzir cada vez mais corrente – mantendo uma queda de voltagem estável.

Tenha em mente estes dois valores nominais em diodos Zener:

- A **tensão de ruptura**, comumente chamada de *tensão Zener*, é a voltagem polarizada inversamente que faz com que o diodo rompa-se e conduza corrente. As tensões de ruptura, que são controladas pelo processo de dopagem do semicondutor, variam de 2,4 V a centenas de volts.
- A **potência nominal** diz qual é a potência máxima (voltagem x corrente) que o diodo Zener pode aguentar. Até os diodos feitos para se romperem podem realmente romper-se se você exceder sua potência nominal.

O símbolo de circuito de um diodo Zener é mostrado aqui.

Como os diodos Zener são tão bons em manter uma voltagem inversamente polarizada constante, até com a corrente variando, eles poderão ser usados para regular a voltagem em circuitos. No circuito da Figura 6-8, por exemplo, uma alimentação de 9 V é usada para uma carga, e um diodo Zener está colocado de modo que a alimentação DC exceda a tensão de ruptura de 6,8V. Observe que esta voltagem está polarizando o diodo inversamente. Uma vez que a carga está em paralelo com o diodo Zener, a queda de voltagem através dela é a mesma que a voltagem no Zener, que é 6,8 V. A voltagem de alimentação restante tem queda através do resistor (que está ali para limitar a corrente através do diodo para que a potência nominal não seja excedida).

O mais importante é: se a voltagem de alimentação variar para cima ou para baixo ao redor do valor nominal de 9 V, a corrente do circuito flutuará, mas a *voltagem através da carga permanecerá a mesma*: uma voltagem constante de 6,8 V. O diodo Zener permite flutuações na corrente, e, ao mesmo tempo, estabiliza a voltagem, enquanto a voltagem no resistor varia conforme a corrente flutua.

Figura 6-8: O diodo Zener estabiliza a queda de voltagem através da carga neste circuito.

Enxergando a luz com os LEDs

Todos os diodos liberam energia, na forma de luz, quando polarizados diretamente. A luz liberada por diodos de silício padrão está na faixa do infravermelho, que não é visível ao olho humano. Os *LEDs infravermelhos* (IR LEDs – *infrared light-emitting diodes*) são geralmente usados em dispositivos de controle remoto para enviar mensagens secretas (está bem, invisíveis) a outros aparelhos eletrônicos, como a sua TV ou aparelho de DVD.

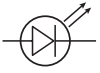
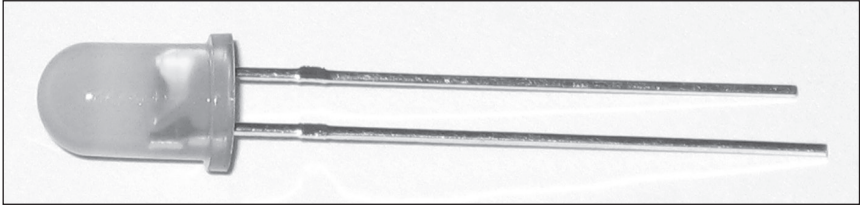
Os diodos conhecidos como *LEDs visíveis* (ou apenas LEDs) são feitos, especialmente, para emitir luz visível. Variando-se os materiais semicondutores, os diodos podem ser projetados para emitir luz vermelha, amarela ou verde, e há LEDs para fins especiais que emitem luz azul, ou até mesmo branca. LEDs bicolores e tricolores contêm dois ou três diodos diferentes em uma cápsula.

Este é o símbolo de circuito de um LED. O diodo de um LED fica abrigado em uma lâmpada de plástico, criado para focar a luz em uma direção específica. O terminal conectado ao cátodo é mais curto do que o conectado ao ânodo. Comparados com as lâmpadas incandescentes normais, os LEDs são mais duráveis e eficientes, funcionam mais frios, alcançam o brilho total muito mais rápido, e duram muito mais. Os LEDs são comumente usados como luzes de indicação em carros, computadores e eletrônicos de áudio, e também, em relógios digitais e outros displays. A Figura 6-9 mostra um LED monocromático.

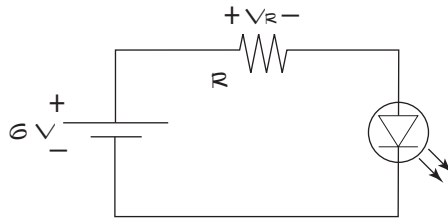
Figura 6-9: O terminal menor de um LED monocromático típico é conectado ao cátodo.

Os LEDs contêm as mesmas especificações que os diodos padrão, mas costumam ter valores nominais de PIV bem mais baixos. Um LED típico tem um PIV nominal de cerca de 5 V, com uma corrente nominal de menos de 50 mA. Se mais corrente passar por um LED do que o especificado em sua corrente nominal, o LED se queima como um *marshmallow* em uma fogueira de acampamento. As tensões diretas variam, dependendo do tipo de LED; elas vão de 1,5 V em LEDs IR até 4,6 V em LEDs azuis. LEDs vermelhos, amarelos e verdes normalmente têm uma tensão direta de cerca de 2,0 V. Certifique-se de verificar as especificações de qualquer LED que você vá usar em circuitos.

A corrente nominal de um LED é normalmente chamada de *corrente direta* máxima, que é diferente de outro valor nominal do LED, conhecido como *corrente de pico* ou *corrente de pulso*. A corrente de pico/pulso, que é mais alta do que a corrente direta máxima, é o máximo absoluto de corrente que você pode passar em um LED por um período muito curto de tempo. Aqui, curto significa *pequeno* – da ordem de milissegundos. Se você confundir corrente direta com corrente de pico, poderá estragar seu LED.

Você nunca deve conectar um LED diretamente em uma fonte de alimentação, ou poderá fritar o LED instantaneamente. Em vez disso, use um resistor em série com o LED para limitar a corrente direta. Por exemplo, no circuito da Figura 6-10, é usada uma bateria de 6 V para alimentar um LED vermelho. O LED tem uma queda de tensão direta de 20 V e uma corrente nominal de 30 mA. A queda de voltagem através do resistor é a diferença entre a tensão de alimentação e a tensão direta do LED, ou 6 V – 2 V = 4 V. A questão é: que tamanho o resistor deve ter para limitar a corrente a 30 mA (isto é, 0,030 A) ou menos, quando a queda de voltagem através do resistor é 4 V? Você aplica a Lei de Ohm (que discutimos no Capítulo 3) para calcular o valor *mínimo* de resistência necessário para manter a corrente abaixo da corrente nominal da seguinte forma:

$$R = \frac{V_R}{I_{max}}$$
$$= \frac{4\ V}{0.030\ A}$$
$$\approx 133\ \Omega$$

O mais provável é que você não encontre um resistor com o valor exato que calculou, portanto, escolha um resistor padrão de valor *mais alto* (como 150 Ω) para limitar um pouco mais a corrente. Se escolher um valor mais baixo (como 120 Ω), a corrente excederá a corrente nominal.

Figura 6-10: Certifique-se de inserir um resistor em série com um LED para limitar a corrente ao LED.

Outros usos dos diodos

Entre os muitos outros usos dos diodos nos circuitos eletrônicos, estão os seguintes:

- **Proteção contra sobretensão**: Diodos colocados em paralelo com um equipamento eletrônico sensível protegem o equipamento contra grandes elevações de voltagem. O diodo é colocado "para trás," de modo que fique normalmente polarizado inversamente, agindo como um circuito aberto e não tendo nenhum papel na operação normal do circuito. Porém, em circunstâncias anormais de circuito, se ocorrer uma grande e rápida elevação (também chamada de *spike*) de voltagem, o diodo torna-se polarizado diretamente – o que limita a voltagem através do componente sensível e desvia o excesso de corrente para a terra evitando danos ao componente. O diodo pode não ter tanta sorte.
- **Construção de portas lógicas**: Diodos são os tijolos de circuitos especiais conhecidos como *lógicos*, os quais processam sinais que consistem apenas de dois níveis de voltagem usados para representar informações binárias (como ligado/desligado, alto/baixo, 1/0) nos sistemas digitas. Discutiremos um pouco mais os lógicos no Capítulo 7.
- **Direcionamento de corrente**: Às vezes, os diodos são usados em fontes de alimentação ininterrupta (UPSs ou No-breaks), para evitar o consumo de corrente de uma bateria reserva em circunstâncias normais, enquanto permite que a corrente seja puxada da bateria em caso de falta de eletricidade.

Transistores Tremendamente Talentosos

Imagine um mundo sem o incrível tijolo da eletrônica conhecido como transistor. Seu celular seria do tamanho de uma máquina de lavar, seu *laptop* (que, em português, significa 'sobre o colo') não caberia no colo - e nem mesmo numa sala —, e seu iPod ainda seria um brilho nos olhos de Steve Jobs.

Os transistores são o coração de quase todos os dispositivos eletrônicos do mundo, os quais trabalham em silêncio e sem ocupar muito espaço, geram muito calor ou "pifam" com frequência. Normalmente considerados a mais importante inovação tecnológica do século XX, os transistores foram desenvolvidos como alternativa aos tubos de vácuo, os quais conduziram o desenvolvimento dos sistemas eletrônicos desde as transmissões de rádio até os computadores, mas apresentavam algumas características indesejáveis. O transistor de estado sólido permitiu a miniaturização da eletrônica, levando ao desenvolvimento de celulares, iPods, sistemas de GPS – e muito mais.

Os transistores da maioria dos *gadgets* (dispositivos) portáteis de hoje são microscopicamente pequenos, sem partes móveis, muito confiáveis e dissipam muito menos potência do que seus antecessores, os tubos de vácuo. Eles fazem, basicamente, duas coisas nos circuitos eletrônicos: ligar/desligar e amplificar. Mas essas tarefas são a chave para realizar tudo. Se você pode ligar e desligar o fluxo de elétrons, você tem controle sobre o fluxo, e pode construir circuitos muito complexos incorporando uma série de interruptores nos lugares certos. Se você pode amplificar um sinal elétrico, então você pode armazenar e transmitir sinais minúsculos e ampliá-los quando precisar deles para fazer algo acontecer (digamos, mover o diafragma de um alto-falante).

Há muitos tipos diferentes de transistores. Os dois tipos mais comuns são:

- Transistores de junção bipolar
- Transistores de efeito de campo

A seção a seguir traz um olhar mais próximo sobre eles.

Transistores de junção bipolar

Os primeiros transistores inventados foram os *transistores de junção bipolar* (TJB – ou BJT, em inglês), e os TJBs são os que a maioria dos práticos de *hobby* usa em circuitos feitos em casa. Os TJBs consistem na fusão de duas junções PN para formar uma estrutura de três camadas, como um sanduíche. Os terminais conectam-se a cada seção do transistor e são rotulados como *base*, *coletor* e *emissor*. Há dois tipos de transistores bipolares:

- **Transistores NPN**: um pedaço fino de semicondutor tipo P fica como 'recheio de sanduíche' entre dois pedaços mais espessos de semicondutor tipo N, e os terminais conectam-se a cada uma das três seções. O símbolo de transistor NPN é mostrado aqui.

- **Transistores PNP**: um pedaço fino de semicondutor tipo N fica como 'recheio de sanduíche' entre dois pedaços mais espessos de semicondutor tipo P, e os terminais conectam-se a cada uma das três seções. O símbolo de transistor NPN é mostrado aqui.

Os transistores bipolares contêm, essencialmente, duas junções PN: a junção base-emissor e a junção base-coletor. Controlando a voltagem aplicada à junção base-emissor, você controla como essa junção é polarizada (direta ou inversamente), e assim também, essencialmente, o fluxo de corrente elétrica através do transistor. Exploramos exatamente como um transistor NPN funciona na seção "Como realmente funcionam os transistores", mais à frente neste capítulo.

Transistores de efeito de campo

Um *transistor de efeito de campo* (FET – *field effect transistor*) consiste de um canal de material semicondutor tipo N ou P, através do qual a corrente pode fluir, com um material diferente (colocado através de uma secção do canal), o qual controla a condutividade deste. Uma ponta do canal é conhecida como *fonte* (*source*), e a outra é chamada de *dreno* (*drain*), e o mecanismo de controle é chamado de *porta* (*gate*). Aplicando uma voltagem à porta, você controla o fluxo da corrente da fonte para o dreno. Os terminais conectam-se à fonte, ao dreno e à porta. Alguns FETs incluem um quarto terminal para que você possa aterrar parte do FET ao chassi do circuito. Mas não confunda essas criaturas de quatro pernas com os *MOSFETs de porta dupla*, que também têm quatro terminais.

Os FETs vêm em duas formas – canal N e canal P – dependendo do tipo de material semicondutor (tipo N ou tipo P, respectivamente) através do qual a corrente flui. Há dois principais subtipos de FETs: os *MOSFETs* (*metal-oxide-semiconductor FETs*) e os *JFETs* (*junction FETs*). Qual é o que depende de como exatamente a porta é construída – o que resulta, por sua vez, em diferentes propriedades elétricas e diferentes usos para cada tipo. Os detalhes da construção de porta estão além do escopo deste livro, mas é importante saber o nome dos dois principais tipos de FETs.

Os FETs (especialmente os MOSFETs) vêm-se tornando muito mais populares do que os transistores bipolares para uso em circuitos integrados, que discutiremos no Capítulo 7, onde milhares de transistores trabalham juntos para realizar uma tarefa. Isso é porque eles são dispositivos de baixa potência cuja estrutura permite que milhares de MOSFETs de canais P e N sejam espremidos como sardinhas em um mesmo pedaço de silício.

Descarga eletrostática (ESD – *electrostatic discharge*) pode danificar os FETs. Caso você adquira FETs, certifique-se de mantê-los em um saco ou tubo antiestático – e deixe-os lá até a hora de usá-los. Você poderá ler mais sobre os efeitos danosos da ESD no Capítulo 9.

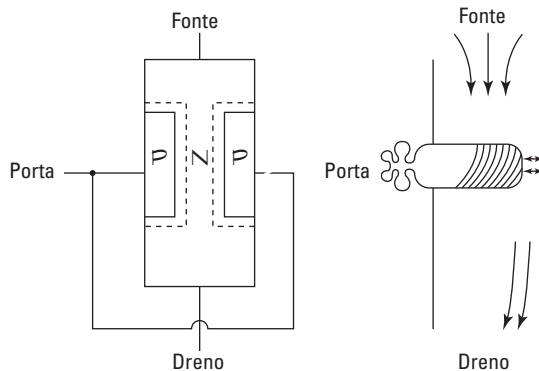
Operando um Transistor

Os TJBs e FETs funcionam basicamente da mesma forma. A voltagem que você aplica à entrada (*base*, em um TJB, ou *porta*, em um FET) determina se a corrente flui ou não através do transistor (do coletor ao emissor, em um TJB, e da fonte ao ralo em um FET).

- Abaixo de um determinado nível de voltagem, não flui corrente alguma.
- Acima de um determinado nível de voltagem, flui a corrente máxima possível.
- Entre esses dois níveis de voltagem, flui uma quantidade 'intermediária' de corrente.

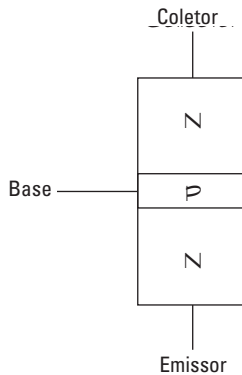
No modo 'intermediário' de corrente, pequenas flutuações na corrente de entrada produzem grandes flutuações na corrente de saída. Ao permitir apenas a primeira das duas possibilidades de voltagem de entrada (tudo ou nada), você usa o transmissor como um interruptor liga/desliga para o fluxo da corrente. Permitindo a terceira possibilidade, você usa o transistor como amplificador.

Para entender como funciona um transistor (especialmente um FET), pense em um cano conectando uma fonte de água a um ralo, com uma válvula controlável em uma seção do cano, conforme mostra a Figura 6-11. Controlando se a válvula fica completamente fechada, completamente aberta ou parcialmente aberta, você controla o fluxo de água da fonte ao ralo. Você pode ajustar o mecanismo de controle da sua válvula de duas formas: ele pode agir como um botão de liga/desliga, seja abrindo totalmente ou fechando totalmente, sem nada entre um estado e outro; ou ela pode abrir-se parcialmente, dependendo da força que você exerce sobre ela. Quando está parcialmente aberta, você pode ajustar um pouco a válvula para permitir que mais ou menos água flua da fonte ao ralo; pequenas mudanças na força que exerce na válvula criam mudanças semelhantes, porém, maiores no fluxo da água. É assim que um transistor age como amplificador.

Figura 6-11: Em um transistor de efeito de campo (FET), a voltagem aplicada à porta controla o fluxo da corrente da fonte ao dreno.

Como Realmente Funcionam os Transistores

Se você, por curiosidade, quiser saber sobre como a aplicação de uma voltagem a uma junção PN em um transistor bipolar pode controlar a corrente que flui no resto do transistor, esta seção é para você. Se não tem nenhum interesse no que se passa com os elétrons e buracos em semicondutores dopados, pode pular esta seção e seguir para a seção "Usando um modelo para entender os transistores".

Para ter uma boa visão de como os transistores realmente funcionam, vamos dar uma olhada em um transistor NPN. A Figura 6-12 mostra uma representação da estrutura de um transistor NPN, a qual inclui uma seção estreita tipo P entre duas seções mais espessas, tipo N. A seção tipo P forma a base do transistor e tem um terminal saindo dela. Uma das seções tipo N é o emissor e a outra é o coletor. O emissor e o coletor não são intercambiáveis – eles são dopados de forma diferente de modo que cada um tenha uma concentração diferente de elétrons livres. Como a base é tão estreita, há muito menos buracos disponíveis nela do que elétrons livres no coletor e no emissor. Essa diferença é importante.

Figura 6-12: A base de um transistor NPN traz um semicondutor tipo P como 'recheio de sanduíche' entre dois semicondutores tipo N mais espessos.

Emitindo e coletando elétrons

Há duas junções PN em um transistor NPN: a *junção base-coletor* (a junção PN entre a base e o coletor) e a *junção base-emissor* (a junção PN entre a base e o emissor). É como colar dois diodos, ânodo com ânodo. Digamos que você conecte duas fontes de voltagem diferentes através das duas junções, como mostra a Figura 6–13: uma fonte, V_{CE}, aplica uma voltagem DC positiva do coletor ao emissor; a outra fonte, V_{BE}, aplica uma voltagem DC positiva da base para o emissor. Se $V_{CE} > V_{BE}$, a voltagem na base será

mais negativa do que a voltagem no coletor, então, a junção base-coletor é polarizada inversamente, e não fluirá corrente alguma através dessa junção. Se você elevar V_{BE} para cerca de 0,7 V (a tensão direta de uma junção PN de silício) ou mais, estará polarizando diretamente a junção base-emissor – e a corrente fluirá através dessa junção.

A corrente que flui através de uma junção base-emissor consiste no conjunto de elétrons livres do emissor – na verdade, o emissor está envia ("emite") seus elétrons em direção à base. É claro que os elétrons livres do emissor estão sendo empurrados por uma força externa, a qual vem da voltagem de uma fonte de alimentação conectada ao coletor.

Coletor
N
Base
P
Emissor
N
+ VCE –
+ VBE –
I (Corrente convencional)

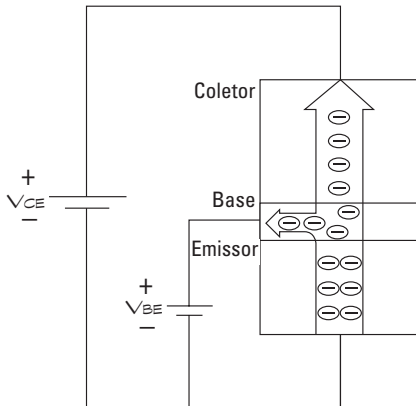
① Os elétrons se movem para a tensão positiva (Vce), deixando a área próxima à junção carregada positivamente.

④ As lacunas na base absorvem o maior número possível de elétrons emitidos.

③ Os elétrons fluem através do emissor e da base.

② Conduz a tensão de polarização (Vce) através da junção da base-emissor, que faz com que os elétrons fluam.

Coletor
Base
Emissor
+ VCE –
+ VBE –

Figura 6-13: Polarize diretamente a junção base-emissor para deixar a corrente fluir em um transistor.

Alguns dos elétrons que entram na base *recombinam-se* com os buracos flutuantes (lembre-se, a base é feita de um semicondutor tipo P). Mas, como esta é tão estreita, não há buracos suficientes para absorver todos os elétrons que cruzam a junção, então ela torna-se negativamente carregada e tenta forçar a saída dos elétrons a mais. Há dois caminhos para todo esse excedente de elétrons deixarem a base:

- Através da conexão da base que leva à fonte de voltagem positiva.
- Através da junção base-coletor, para dentro do coletor.

Então, para que lado eles vão? Lembre-se que a junção base-coletor é polarizada inversamente, com uma forte voltagem positiva conectada ao terminal do coletor. A voltagem positiva tende a atrair os elétrons livres, que normalmente existem no coletor tipo N, em direção a uma ponta do coletor. Isso torna os elétrons mais escassos na região da *outra* ponta do coletor (bem próxima da junção base-coletor) – então essa ponta parece estar positivamente carregada.

Humm... então a região do coletor perto da junção base-coletor parece positivamente carregada, e um bocado de elétrons que foram emitidos pelo emissor estão, agora, se aglomerando na base à procura de uma saída. O que acontece? *A maioria desses elétrons (cerca de 99%) é puxada através da junção base-coletor*. Resultado: os elétrons que foram emitidos pelo emissor são agora "coletados" pelo coletor. Uma pequena porcentagem (menos de 1%) dos elétrons sai da base através do terminal conectado à fonte de voltagem da base, mas o puxão para sair não é tão forte quanto o outro puxão através da junção e para dentro do coletor. O coletor ganha o cabo de guerra atraindo a maioria dos elétrons do emissor.

O que você vê como observador de fora, olhando os terminais conectados ao transistor, é que quando a junção base-emissor é polarizada diretamente, os elétrons fluem do emissor e são divididos entre o conector e a base, com a maioria dos elétrons (cerca de 99%) indo para o coletor. *Controlando a voltagem na junção base-emissor, você faz com que uma grande quantidade de elétrons flua através do transistor, do emissor ao coletor*. Essa é a base da operação dos transistores. Polarizar o transistor é como abrir a válvula que controla o fluxo da corrente através do transistor.

Agora, os circuitos eletrônicos sempre se referem à corrente convencional – que, como mencionado antes, é apenas o oposto do fluxo real de elétrons de que falamos nesta seção. Então, em 'linguagem de circuito', diz-se que, polarizar diretamente a junção base-emissor de um transistor NPN faz com que uma pequena corrente (convencional) flua da base para o emissor, e uma grande corrente (convencional) flua do coletor ao emissor. É por isso que o símbolo de circuito de um transistor NPN mostra uma flecha apontando para fora do emissor; ela aponta na direção do fluxo da corrente *convencional*.

Você polariza diretamente um transistor NPN de silício aplicando uma voltagem de, no mínimo, 0,7 V à junção base-emissor. Os transistores feitos de germânio (muito menos comum do que o silício) têm voltagens

diretamente polarizadas menores (cerca de 0,3 V), mas o mesmo funcionamento de causa e efeito do transistor acontece. Os transmissores PNP funcionam da mesma forma, exceto que todas as polaridades são invertidas, pois as junções são invertidas. Para polarizar diretamente a junção base-emissor de um transistor PNP, por exemplo, você aplica uma voltagem de -0,7 V ao emissor. O símbolo de circuito de um transistor PNP mostra uma flecha apontando para *dentro* do emissor, o que indica a direção do fluxo de corrente convencional quando o transistor está conduzindo.

Ganhando corrente

Quando um transistor conduz corrente, se você aumentar a corrente que flui para a base, I_B, algo interessante acontecerá: a corrente que flui para o coletor, I_C, aumenta também. Se você diminuir a corrente na base, a corrente no coletor diminui também. Na verdade, a relação 1% - 99% entre a corrente na base e a no coletor continua valendo, conforme você varia a corrente na base (dentro de limites, os quais discutiremos na seção “Saturando o transistor”, mais à frente neste capítulo).

O padrão de mudanças de corrente no coletor segue exatamente o padrão de mudanças de corrente na base – mas é muito maior. É por isso que os transistores são conhecidos como amplificadores de corrente – mesmo que eles não *criem* realmente correntes maiores; eles apenas as *controlam*. A quantidade de corrente que flui no coletor é diretamente proporcional à quantidade de corrente na base. O *ganho de corrente* (simbolizado por h_{FE}) do transistor depende de vários fatores, incluindo o transistor específico escolhido.

Mesmo para um transmissor especificamente, o ganho de corrente varia dependendo de vários fatores. Você nunca deve desenhar um circuito que dependa de um valor específico de ganho de corrente, ou o seu circuito provavelmente agirá de forma estranha. Se você estiver usando o transistor como botão liga/desliga (algo que discutimos na seção “Ligando e desligando sinais com um transistor”), não importa muito qual seja o ganho exato da corrente. Se estiver usando o transistor como amplificador, poderá evitar um circuito esquisito, ao configurar seu transistor junto com outros componentes (como os resistores) de uma forma que remova qualquer dependência de um valor exato de ganho de corrente. Esta soluçãozinha esperta (que discutiremos na seção “Amplificando sinais com um transistor”) acabará sendo muito fácil de projetar.

Saturando o transistor

Nos transistores, o ganho de corrente proporcional da base para o coletor ocorre até certo ponto. Lembre-se que o interior de um transistor consiste de semicondutores dopados, os quais têm um número limitado de elétrons ou buracos livres que ficam se movendo. Conforme você aumenta o fornecimento de voltagem à base, você permite que mais elétrons fluam para fora da base, o que significa que estão vindo mais elétrons do emissor. Mas há um limite para a quantidade de elétrons livres disponíveis no emissor, então, há um limite para a quantidade de corrente que pode fluir. Quando o transistor atinge o limite, ele fica *saturado*.

Entendendo a palavra transistor

Afinal, por que os transistores se chamam transistores? Bem, a palavra "transistor" é uma combinação de duas partes de palavras: *trans* e res*istor*. A parte *trans* do nome expressa o fato de que, colocando uma voltagem polarizada diretamente na junção base-emissor, você faz os elétrons fluírem em outra parte do componente, do emissor ao coletor. Você *transfere* a ação de uma parte do componente para outra. Isso é conhecido como *ação de transistor*.

Como as flutuações da corrente na base resultam em flutuações proporcionais da corrente no coletor/emissor, você pode pensar no transistor como um tipo de resistor variável: quando você gira o botão (variando a corrente na base), a resistência se modifica, produzindo uma corrente proporcionalmente variável no coletor/emissor. É daí que vem a parte *istor* do nome.

Você pode pensar na saturação de um transistor como a abertura de uma válvula, a qual se abre cada vez mais para que flua mais água em um cano, até que este já contenha sua capacidade máxima de água; mesmo que você abra mais a válvula, não conseguirá fazer fluir mais água pelo cano.

Quando um transistor está saturado, suas duas junções (base-emissor e base-coletor) são polarizadas diretamente. A queda de voltagem através da saída de um transistor – do coletor ao emissor – é quase zero. É como se houvesse um fio conectado através da saída do transistor. E, como I_C é muito maior do que I_B, e $I_E = I_B + I_C$, você pode dizer que $I_C \approx I_E$. Verá que essa aproximação será muito útil ao analisar e desenhar circuitos com transistores.

Se você operar o transistor de modo que a corrente sature ou não flua, estará usando o transistor como um interruptor liga/desliga. Você faz isso desenhando o circuito de modo que a junção base-emissor seja ou não condutora (a voltagem através dela seja menor do que 0,7 V) ou totalmente condutora – sem nada entre essas opções.

Usando um Modelo para Entender os Transistores

Elétrons livres, buracos móveis, junções PN e polarização, tudo isso é muito bonito, mas você não precisa saber todas essas coisas técnicas de cor para usar transistores em circuitos. Ao invés disso, você pode se familiarizar com um modelo funcional de um transistor, e ficará sabendo o suficiente para começar.

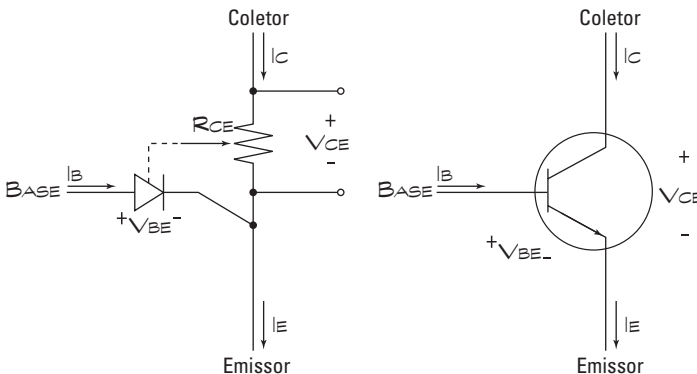
A Figura 6-14 mostra um modelo simples de um transistor NPN à esquerda, e um símbolo de circuito de um transistor NPN à direita. As voltagens, correntes e terminais dos transistores estão indicados em ambos, de modo que você possa ver como o modelo corresponde ao dispositivo real. O modelo inclui um diodo entre a base e o emissor controlando uma resistência variável, R_{CE}, entre o coletor e o emissor.

Escolhendo o interruptor certo

Você pode se perguntar por que deve usar um transistor como interruptor quando há tantos outros tipos de interruptores e reles disponíveis (como descreve o Capítulo 8). Bem, os transistores têm várias vantagens sobre os outros tipos de interruptores, por isso, podem ser usados como a melhor opção. Os transistores utilizam pouca energia, podem ligar e desligar vários bilhões de vezes por segundo, e podem ser feitos em tamanho microscópico de modo que os circuitos integrados (que discutimos no Capítulo 7) usam milhares de transistores para ligar e desligar sinais em um pequenino *chip*. Os interruptores e reles mecânicos também têm sua utilidade em situações onde os transistores não aguentam a carga, como para ligar/desligar correntes maiores do que 5 A ou ligar/desligar voltagens mais altas (como em sistemas de fornecimento de eletricidade).

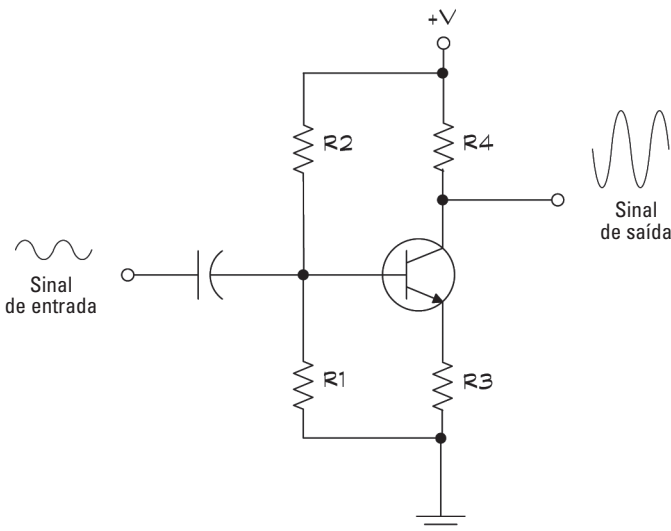
Há três diferentes *modos de operação*, ou possibilidades para a forma como os transistores operam:

- **Transistor desligado**: Se V_{BE} < 0,7 V, o diodo está desligado, então $I_B = 0$. Isso torna a resistência R_{CE} infinita, o que significa que $I_C = 0$. A saída do transistor (coletor para emissor) é como um interruptor aberto: não há corrente fluindo. Chamamos este *modo de corte*.
- **Transistor parcialmente ligado**: Se $V_{BE} \geq 0,7$ V, o diodo está ligado, então, a corrente flui. Se I_B é pequena, a resistência RCE é reduzida e flui alguma corrente, I_C. I_C é diretamente proporcional a I_B, com um *ganho de corrente*, h_{FE}, igual a $^{IC}/_{IB}$, e o transistor está funcionando como um amplificador de corrente – isto é, operando no *modo ativo*.
- **Transistor totalmente ligado**: Se $V_{BE} \geq 0,7$ V, e I_B é muito aumentado, a resistência R_C é zero, e no coletor flui a maior corrente, I_C, possível. A voltagem do coletor ao emissor, V_{CE}, é quase zero, então a saída do transistor (coletor para emissor) é como um interruptor fechado: toda a corrente que pode fluir através dele está fluindo: o transistor está *saturado*.

Figura 6-14: Um transistor funciona como um interruptor, dependendo do que você coloque na base.

Ao desenhar um circuito de transistor, você escolhe os componentes que colocarão o transistor no modo de operação certo (corte, ativo ou saturação), dependendo do que você queira que o transistor faça. Por exemplo, se você quiser usar o transistor como amplificador, escolherá voltagens de alimentação e resistores que polarizarão diretamente a junção base-emissor e permitirão que flua na base a corrente suficiente – mas não tanto, para que o transmissor não fique saturado. Esse processo de escolha é conhecido como *polarização* do transistor. Se você quiser que o transistor aja como um interruptor, escolha valores que permitam apenas dois estados – nenhuma corrente fluindo na base ou corrente suficiente para saturar o transistor – e use um interruptor ou a saída de um estágio anterior nos circuitos para controlar essa operação de dois estados.

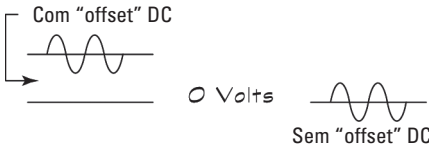
Amplificando Sinais com um Transistor

Os transistores são comumente usados para amplificar sinais pequenos. Digamos, por exemplo, que você produza um sinal de áudio como saída de uma fase de circuito eletrônico e queira amplificá-lo antes de o enviar a outro estágio de eletrônica, como um alto-falante. Você usará um transistor, como mostra a Figura 6-15, para amplificar as flutuações para cima e para baixo no sinal de áudio ($V_{entrada}$), o qual irá inserir na base do transistor; ali, elas se tornarão *grandes* flutuações de sinal ($V_{saída}$), as quais aparecerão na saída (coletor) do transistor. Então, você pegará a saída do transistor e irá aplicá-la na entrada dos seus alto-falantes.

Figura 6-15: Posicionando estrategicamente alguns resistores em um circuito de transistor, você pode polarizar adequadamente um transistor e controlar o ganho da corrente.

Polarizando o transistor para que ele aja como amplificador

Um transistor deve estar parcialmente ligado para funcionar como amplificador. Para colocar um transistor neste estado, você o polariza, aplicando uma pequena voltagem à base. No exemplo da Figura 6-15, os resistores R1 e R2 estão conectados à base do transistor e configurados como um divisor de tensão (para mais informações sobre como funciona um divisor de tensão, veja o Capítulo 3). A saída desse divisor de tensão fornece voltagem suficiente à base para ligar o transistor e permitir que a corrente flua através dele, polarizando-o de forma que ele fique no modo ativo (isto é, parcialmente ligado).

O capacitor da entrada permite que apenas AC passe para o transistor, bloqueando qualquer componente DC do sinal de entrada (um efeito conhecido como *DC offset*), conforme mostra a Figura 6–16. Sem esse capacitor, qualquer DC offset no sinal de entrada pode perturbar a polarização do transistor, potencialmente fechando-o (corte) ou saturando-o de forma que ele não possa agir mais como amplificador.

Figura 6-16: Um capacitor bloqueando, ajuda a manter a polarização do transistor, pois ele retira por filtragem os DC offsets do sinal de entrada.

Controlando o ganho de tensão

Com o transistor da Figura 6-15 parcialmente ligado, as flutuações de corrente causadas pelo sinal de entrada AC são amplificadas pelo transistor. Como o ganho de corrente de qualquer transistor que você escolher pode ser algo variável (esquizofrênico, na verdade), você projeta seu circuito amplificador de uma forma que elimine qualquer dependência do excêntrico ganho de corrente. Você abrirá mão de um pouco de força de amplificação, mas terá estabilidade e previsibilidade em troca.

Colocando os resistores R3 e R4 no circuito, você pode controlar o *ganho de tensão* ou quanto o sinal de entrada é amplificado – sem se preocupar com o ganho de corrente exato do transistor específico, o qual se encontra no centro do seu circuito. Isto é algo realmente Incrível! O ganho de tensão AC de um circuito de transistor, com resistores como o mostrado

na Figura 6-15 é R4/R5. O sinal negativo só significa que o sinal de entrada está *invertido*: enquanto a voltagem de entrada varia para cima e, depois, para baixo, a voltagem de saída varia para baixo, e depois para cima, como mostram as formas de onda dos sinais de entrada e saída na Figura 6-15.

Configurando circuitos de transistor como amplificadores

O tipo de configuração de transistor que discutimos na seção anterior é conhecido como *amplificador de emissor comum*; este circuito é apenas uma das muitas formas diferentes de configurar circuitos de transistores para usar como amplificadores. Você usa diferentes configurações para atingir metas diferentes, como ganho de alta potência *versus* ganho de alta tensão. A maneira como os circuitos se comportam depende de:

- Como você conecta o transistor às fontes de alimentação.
- Onde esteja a carga.
- Quais outros componentes do circuito (como resistores, capacitores e outros transistores) você adicionará ao circuito.
- Onde você irá adicionar outros componentes no circuito.

Por exemplo, você pode encavalar dois transistores bipolares em uma combinação conhecida como *par Darlington* para produzir múltiplos estágios de amplificação. No Capítulo 14, você aprenderá exatamente como configurar um par Darlington simples. Ou poderá obter o mesmo resultado de um jeito mais fácil: comprando um componente de três terminais chamado *transistor Darlington*, o qual inclui um par Darlington já montado.

Desenhar circuitos de transistor como amplificadores é um campo de estudo por si só, e muitos livros excelentes já foram escritos sobre o tema. Se você tiver interesse em aprender mais sobre transistores e como desenhar circuitos de amplificadores usando transistores, tente conseguir um bom livro de projetos de eletrônica, como *The Art of Electronics*, por Thomas C. Hayes e Paul Horowitz (Cambridge University Press). Não é barato, mas é um clássico.

Ligando e Desligando Sinais com um Transistor

Você também pode usar um transistor como um interruptor eletricamente operado. O terminal da base do transistor funciona como o botão de um interruptor mecânico. O transistor está em posição 'desligado' quando não há corrente fluindo para a base (em corte), e o transistor age como um circuito aberto – mesmo que haja diferença de voltagem do coletor ao emissor. O transistor está em posição 'ligado' quando a corrente flui para dentro da base (em saturação), agindo como um interruptor fechado, permitindo que a corrente flua do coletor ao emissor – e saia dali para qualquer carga que você queira ligar.

Como você faz essa história de liga/desliga funcionar? Digamos que você use uma engenhoca eletrônica para despejar a ração das galinhas ao amanhecer. Você pode usar um *fotodiodo*, que conduzirá corrente quando exposto à luz, para controlar a entrada em um transistor interruptor que fornece corrente ao seu aparelho (a carga). À noite, o fotodiodo não irá gerar nenhuma corrente, então o transistor ficará desligado. Quando o sol nascer, o fotodiodo começará a gerar corrente, ligando o transmissor e permitindo que a corrente flua para o aparelho. O aparelho, então, começará a despejar a ração – deixando as galinhas felizes, enquanto você continua a dormir.

Se você está se perguntando por que não fornecer logo a corrente do diodo ao aparelho, é porque o seu aparelho pode precisar de uma corrente maior do que a fornecida pelo fotodiodo. A pequena corrente do fotodiodo controla a ação de ligar/desligar do transistor, o qual age como um interruptor para permitir que uma corrente maior de uma bateria alimente seu aparelho.

Um dos motivos dos transistores serem tão populares na função de interruptor, é que eles não dissipam tanta potência. Lembre-se que a potência é o produto da corrente e da voltagem. Quando um transistor está desligado, não flui corrente alguma, então, a potência dissipada é zero. Quando um transmissor está totalmente ligado, V_{CE} é quase zero, então, a potência dissipada é quase zero.

Escolhendo Transistores

Os transistores tornaram-se tão populares que há literalmente milhares e milhares de transistores diferentes atualmente disponíveis. Então, como escolher um para o seu circuito, e como conseguir se localizar no meio de tantas opções disponíveis no mercado?

Se você estiver desenhando um circuito de transistor, precisará entender como seu circuito irá operar em várias circunstâncias. Qual a quantidade máxima de corrente de coletor que seu transistor terá que suportar? Qual o ganho mínimo de corrente que você precisa para amplificar um sinal de entrada? Quanta potência pode ser dissipada no seu transistor em condições extremas de operação (por exemplo, quando o transistor está desligado e a queda de toda a voltagem da fonte de alimentação pode ocorrer através do coletor-emissor)?

Após entender os detalhes de como seu circuito operará, você poderá começar a consultar especificações de transistor para encontrar um que satisfaça às suas necessidades.

Dados importantes de um transmissor

Há muitos parâmetros usados para descrever as cargas dos diferentes transistores disponíveis no mercado, mas somente alguns você realmente precisa conhecer para escolher o transistor certo para o seu circuito. Para transistores bipolares (NPN ou PNP), isto é o que precisa saber:

- **I_C máxima**: É a *corrente de coletor máxima* que o transistor pode suportar. Ao desenhar o circuito, certifique-se de usar um resistor para limitar a corrente no coletor, para que ela não exceda este valor.
- **h_{FE}**: É o *ganho de corrente DC* da base para o coletor. Como o ganho de corrente pode variar – mesmo entre os transistores do mesmo tipo – você precisa saber o valor mínimo garantido de h_{FE}, e é isso que este parâmetro lhe diz. O h_{FE} também varia com valores diferentes de I_C, então, às vezes, o h_{FE} é dado para um certo valor de I_C, tal como 20 mA.
- **V_{CE}**: É a *voltagem máxima do coletor ao emissor*. Ela costuma ser, no mínimo, 30V. Se você estiver trabalhando com aplicações de baixa potência, como circuitos eletrônicos de *hobby*, não se preocupe com este valor.
- **P_{total} máximo**: É a *dissipação de potência máxima*, aproximadamente, V_{CE} x I_C máxima. Não é preciso se preocupar com este valor se você estiver usando o transistor como interruptor; a dissipação de potência é quase zero. Porém, se você estiver usando o transistor como um amplificador, precisará saber.

Se você acha que seu circuito se aproximará desse valor, certifique-se de acoplar um dissipador de calor ao transistor.

É claro que, nenhum desses dados aparece no transistor em si – assim seria muito fácil. Para determinar essas características, você tem que procurar pelo transistor em um livro de especificações, ou consultar a documentação técnica no *site* do fabricante (o qual, muito provavelmente, estará em inglês). Se você estiver construindo um circuito que outra pessoa projetou, poderá simplesmente usar o transistor especificado pelo projetista, ou consultar um livro de referência-cruzada para achar um modelo similar e substituir.

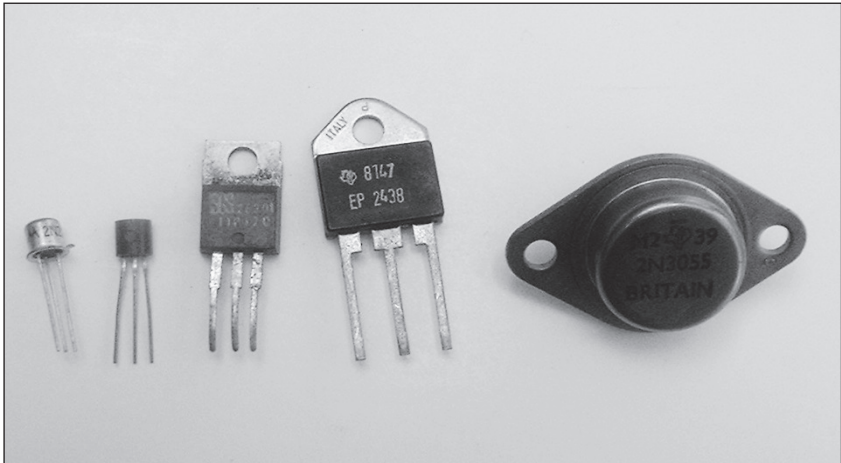
Identificando transistores

Muitos transistores bipolares, originados da América do Norte, são identificados por um código de cinco ou seis dígitos, o qual faz parte do sistema de identificação de semicondutores padrão da indústria. Os dois primeiros dígitos são sempre “2N” para transistores, sendo que o “2” especifica o número de junções PN e o “N” significa um semicondutor. Os três ou quatro dígitos restantes indicam características específicas do transistor. Porém, fabricantes diferentes podem usar esquemas de codificação também diferentes, por isso, o melhor é consultar o site, catálogo ou folha de especificações adequados para certificar-se de obter o que precisa usar em seu circuito.

Muitos fornecedores categorizam os transistores de acordo com o tipo de aplicação em que são usados, como baixa potência, média potência, alta potência, áudio (baixo ruído), ou fins genéricos. Saber a categoria que descreve seu projeto pode ajudar a guiá-lo para fazer a escolha certa de um transmissor para seu circuito em particular.

Reconhecendo um transistor quando você o vê

O material semicondutor de um transistor é do tamanho de um grão de areia ou até menor, por isso, os fabricantes colocam esses minúsculos componentes em uma cápsula de metal ou plástico, com terminais para fora, para que possa conectá-los em seus circuitos. Você pode encontrar literalmente dúzias e mais dúzias de diferentes formas e tamanhos de transistores, alguns dos quais são mostrados na Figura 6-17. As cápsulas menores geralmente abrigam *transistores de sinal*, cujas especificações são para suportar correntes menores, enquanto que as maiores contêm *transistores de potência*, com especificações para suportar correntes maiores. A maioria dos transistores de sinal vem em cápsulas plásticas, mas algumas aplicações de precisão requerem transistores de sinal envolvidos em metal para reduzir a chance de interferência de frequências de rádio (RF) extraviadas.

Figura 6-17: Transistores de sinal e de potência vêm em uma variedade de tamanhos de cápsulas.

Transistores bipolares têm tipicamente três terminais de fio para que você possa acessar a base, o coletor e o emissor do transistor. Uma exceção a isso é o *fototransistor* (que discutiremos no Capítulo 8), o qual é envolvido em uma cápsula transparente e tem apenas dois terminais (o coletor e o emissor), pois a luz é usada para polarizar o transistor para que você não tenha que aplicar uma voltagem na base. Todos os FETs têm terminais para a fonte, o ralo e a porta, e alguns incluem um quarto terminal para que você possa aterrar a cápsula do transistor ao chassi do seu circuito, ou para a segunda porta em um MOSFET de porta dupla.

Para descobrir qual terminal é o correto, consulte a documentação do transistor específico. Tenha cuidado com a forma de interpretar a documentação: as conexões geralmente (embora nem sempre) são mostradas da perspectiva do lado de baixo da cápsula, como se o virasse de cabeça para baixo e olhasse seu fundo.

Certamente, você precisa instalar os transistores da forma adequada em seu circuito. Inverter as conexões poderá danificar um transistor, e até outros componentes do circuito.

Fazendo Todos os Tipos de Componentes Possíveis

Os transistores podem ser combinados de todas as formas para fazer com que muita coisa incrível aconteça; como o material realmente semicondutor que forma um transistor é tão pequeno, é possível criar um circuito contendo centenas ou milhares de transistores (junto com resistores e outros componentes) e compor o circuito todo em um só componente que caiba na palma da mão. Essas criações fantásticas, conhecidas como *circuitos integrados* (CIs), permitem que você construa circuitos *realmente* complexos com apenas algumas partes. No próximo capítulo, daremos uma olhada em alguns CIs disponíveis hoje como resultado da revolução dos semicondutores.

Pondo a Sua Habilidade à Prova com Circuitos de Semicondutores

Se você quiser trocar de marcha para obter uma experiência própria com diodos e transistores, confira os circuitos de treino no meio do Capítulo 14, na Parte III. Lá, você encontrará circuitos simples, criados para lhe mostrar como esses componentes funcionam. Você pode ligar e desligar um LED, e variar a intensidade de uma luz pelo controle da quantidade de corrente que passa por ela. Pode observar um diodo Zener mantendo uma voltagem de saída estável. Circuitos simples de transistores mostram como estes amplificam a corrente, e também ligam e desligam a corrente. Antes de apertar o botão 'power' do seu dispositivo semicondutor, certifique-se de ter lido todas as precauções de segurança no Capítulo 9 e de ter revisado os outros capítulos da Parte II, para descobrir como construir e analisar seus circuitos. Assim, você obterá o ganho máximo na sua experiência com semicondutores.

Capítulo 7

Juntando os Componentes em Circuitos Integrados

Neste Capítulo:

- Encurralando componentes em um *chip*
- Falando a língua dos *bits*
- Pensando logicamente sobre as portas
- Lendo as cápsulas de CIs
- Ponderando sobre os pinos de cabos paralelos dos CIs
- Aumentando sinais com amplificadores operacionais
- Ajustando o tempo, contando e controlando todo o que está à mostra

A exploração do espaço, marca–passos programáveis, bens eletrônicos de consumo e muito mais não passariam de sonhos de mentes criativas, se não fosse pelo circuito integrado. Essa inovação incrível – na verdade, uma série de inovações incríveis – viabiliza seu celular, *laptop*, iPod, sistema de navegação GPS e muito mais.

Um *circuito integrado* (CI) incorpora entre algumas dúzias a muitos milhões de componentes de circuitos em um só dispositivo, o qual cabe facilmente na palma da sua mão. Cada CI contém uma rede intrincada de minúsculos controles de tarefas, baseados em transistores, com acesso ao mundo exterior proporcionado por um número finito de entradas e saídas.

Este capítulo explora como os circuitos integrados surgiram, identifica as três principais formas de CI e disseca o funcionamento interno de uma variedade – os CIs digitais. Você irá aprender como os computadores e outros dispositivos digitais manipulam dois níveis distintos de voltagem, para processar informações usando regras especiais conhecidas como lógica. Em seguida, você verá uma explicação de como "ler" um circuito CI para entender que diabos ele faz (porque você não pode julgá-lo pela capa) e como conectá-lo para o uso em circuitos reais. Finalmente, você conhecerá mais de perto três *best-sellers do* CIs, o que eles fazem e como poderá usá-los para criar seus próprios circuitos inovadores.

Por Que CIs?

O circuito integrado (CI) foi inventado em 1958 (ver o quadro "O nascimento do CI") para resolver problemas inerentes à união manual de quantidades massivas de minúsculos transistores. Também chamados *chips*, os circuitos integrados são circuitos miniaturizados, produzidos em uma só peça de semicondutor. Um circuito integrado típico contém centenas de transistores, resistores, diodos e capacitores; os CIs mais avançados contêm várias centenas de milhões de componentes. Por causa dessa eficiência de circuito, você pode construir circuitos realmente complexos com apenas algumas peças. Os CIs são os tijolos de circuitos maiores. Você os conecta uns aos outros para formar qualquer dispositivo eletrônico que você possa imaginar.

O nascimento do CI

Com a invenção do transistor em 1947, o foco dos projetos eletrônicos mudou dos volumosos tubos de vácuo para este dispositivo mais novo, melhor e mais confiável. Isso despertou uma grande empolgação, já que os engenheiros trabalhavam para construir circuitos cada vez mais avançados, uma vez que o tamanho já não era um obstáculo. O sucesso deles em criar projetos avançados acarretou em alguns problemas práticos: interconectar centenas de componentes levava, inevitavelmente, a erros extremamente difíceis de serem isolados. Além disso, circuitos complexos ficavam frequentemente aquém dos requisitos de velocidade (porque leva algum tempo para os elétrons percorrerem um labirinto de fios e componentes). Durante toda a década de 1950, um dos principais focos da indústria eletrônica foi descobrir como tornar os circuitos menores e mais confiáveis.

Em 1952, um engenheiro britânico chamado Geoffrey Dummer apresentou publicamente sua ideia de combinar múltiplos elementos de circuito em uma mesma peça de material semicondutor, sem conexões de fios. Ele percebeu que isso eliminaria os fios defeituosos e a laboriosa reunião de pequenos componentes. Embora Dummer não tenha chegado a construir um CI, ele é praticamente considerado o "profeta do circuito integrado."

Depois, no verão de 1958, Jack Kilby, engenheiro recém-contratado pela Texas Instruments, trabalhando em um laboratório (enquanto seus colegas estavam de férias) conseguiu construir componentes de circuitos múltiplos a partir de uma única peça monolítica de germânio (um material semicondutor), e dispor conectores de metal, em padrões, sobre ela. O projeto rudimentar de Kilby foi a primeira demonstração bem-sucedida do circuito integrado. Seis meses depois, Robert Noyce, da Fairchild Semiconductor (também cofundador da Intel) inventou sua própria versão do CI, o que resolveu muitos dos problemas práticos inerentes ao projeto de Kilby e levou à produção em massa de CIs. Juntos, Kilbe e Noyce receberam crédito pela invenção do circuito integrado. Kilby recebeu o Prêmio Nobel de física por sua contribuição à invenção do circuito integrado — mas somente 42 anos depois — e ele declarou que, se Noyce estivesse vivo quando da entrega do prêmio, certamente teria dividido o prêmio com ele.

Muita coisa aconteceu desde 1958. Muita gente inteligente e criativa continuou a trabalhar com afinco e muitas outras inovações surgiram. O resultado foi que a indústria eletrônica explodiu conforme as *densidades dos chips* (uma medida de quão próximos uns dos outros ficam os transistores na cápsula) aumentaram exponencialmente. Hoje, os fabricantes de semicondutores incrustam, rotineiramente, milhões de transistores em uma mesma peça de silício menor do que uma moeda. (Só de pensar nisso, a cabeça chega a dar voltas, não?)

Pastilha Analógica, Digital ou Mista?

Ao longo dos anos, os fabricantes de chip criaram um bocado de CIs diferentes, cada um deles realizando uma função específica, dependendo de como se conectam os componentes internos. Muitos dos circuitos integrados que você encontra são tão populares que se tornaram padronizados, e você descobre um manancial de informações sobre eles na internet e em livros. Muitos dos diferentes fabricantes de *chip* oferecem esses CIs padronizados, e fabricantes e praticantes de *hobby* no mundo todo os compram e os utilizam em vários projetos. Outros, os chamados CIs de função específica, são criados para realizar apenas uma tarefa. Na maioria das vezes, apenas algumas empresas vendem *chips* de função específica.

Sejam padronizados ou de função específica, você pode separar os CIs em três categorias principais: *analógico (linear)*, *digital* ou *sinal misto*. Esses termos referem-se aos tipos de sinais elétricos (mais informações sobre eles no Capítulo 2) que funcionam dentro do circuito:

- **CIs analógicos (lineares)**: Estes CIs contêm circuitos que processam *sinais analógicos*, os quais são voltagens e correntes continuamente variáveis. Tais circuitos são conhecidos como *circuitos analógicos*. Exemplos de CIs analógicos são os circuitos de gerenciamento de alimentação, sensores, amplificadores e filtros.
- **CIs digitais**: Estes CIs contêm circuitos que processam *sinais digitais*, ou seja, padrões que consistem em apenas dois níveis de voltagem (ou corrente) representando dados digitais binários, ligado/desligado, alto/baixo, ou 1/0. (Discutiremos os dados digitais um pouco mais na próxima seção.) Tais circuitos são conhecidos como *circuitos digitais*. Alguns CIs digitais, como microprocessadores, contêm milhões de pequenos circuitos dentro de apenas alguns milímetros quadrados.
- **CIs de sinal misto**: Estes CIs contêm uma combinação de circuitos analógicos e digitais.

A maioria dos CIs padronizados encaixa-se na categoria digital ou na analógica, e a maioria das empresas que vendem CIs à distância os separam em listas digitais e analógicas.

Tomando Decisões com Lógica

Quando você aprendeu a somar, memorizou fatos como "2 + 2 = 4," "3 + 6 = 9", e assim por diante. Depois, quando aprendeu a somar números com múltiplos dígitos, você usou esses fatos simples com outros novos – "transportar" números, como dizemos nós, os velhinhos, e "reagrupar" números, como diz a geração mais nova. Aplicando alguns simples fatos de adição e uma regra simples, você consegue somar dois números grandes com bastante facilidade.

Somando pedaços de números

No sistema decimal (*base 10*), se você quiser expressar um número maior do que 9, precisa usar mais do que um dígito. Cada posição, ou lugar em um número decimal, representa uma *potência de dez* (10^0, 10^1, 10^2, 10^3, e assim por diante), e o valor do dígito (0-9) nessa posição é um multiplicador dessa potência de dez. Com potências de dez, o *expoente* (o numerozinho erguido junto ao 10) diz quantas vezes multiplicar o 10 por ele mesmo, então, 10^1 é igual a 10, 10^2 é igual a 10 x 10, que é 100, 10^3 é igual a 10 x 10 x 10, que é mil, e assim por diante. Quanto a 10^0, é igual a 1, pois qualquer número elevado à potência zero é igual a 1. Então, as posições em um número decimal, começando da posição mais à direita, representam 1, 10, 100, 1.000 e assim por diante. Elas também são conhecidas como valores de posição (unidades, dezenas, centenas, milhares). O dígito (0-9) que está nessa posição (ou lugar) lhe diz quantas unidades, dezenas, centenas e milhares, estão contidas naquele número decimal.

Por exemplo, o número 9.452 pode ser escrito em *notação expandida* como:

(9 x 1.000) + (4 x 100) + (5 x 10) + (2 x 1)

Todo o nosso sistema matemático baseia-se no número 10 (mas, se os humanos só tivessem oito dedos, talvez usássemos um sistema de *base 8*), de modo que o seu cérebro foi treinado para, automaticamente, pensar no formato decimal (é como uma linguagem matemática). Quando você soma dois dígitos, como 6 e 7, automaticamente interpreta o resultado, 13, como "um grupo de 10 mais 3 grupos de 1." Está tão arraigado em seu cérebro quanto sua língua nativa.

Bem, o sistema binário é como uma outra linguagem: ele usa exatamente o mesmo método, mas baseia-se no número 2. Se quiser representar um número maior do que 1, você precisa de mais de um dígito, e cada posição no seu número representa uma *potência de dois:* 2^0 , 2^1, 2^2, 2^3, e assim por diante, que é o mesmo que 1, 2, 4, 8, 16, e assim por diante. O *bit* (um bit é um dígito binário, apenas 0 ou 1) que se encontra nessa posição no seu número é um multiplicador dessa potência de dois. Por exemplo, o *número binário* 1.101 pode ser escrito em notação expandida como:

(1 x 2^3) + (1 x 2^2) + (0 x 2^1) + (1 x 2^0) Traduzindo isto em formato decimal, você percebe qual é a quantidade numérica da sequência de bits 1.101 representa:

(1 x 8) + (1 x 4) + (0 x 2) + (1 x 1)
= 8 + 4 + 0 + 1

= 13 (em formato decimal)

Então, o número binário 1.101 é o mesmo que o número decimal 13. Eles são apenas duas formas de representar a mesma quantidade física. Isso é como dizer "bonjour" ou "buenos dias" em vez de "bom-dia." São apenas palavras diferentes para a mesma saudação.

Ao somar dois números binários, você usa a mesma metodologia do sistema decimal, só que usando 2 como base. No sistema decimal, 1 + 1 = 2, mas no sistema binário, 1 + 1 = 10 (lembre-se, o número binário 1 representa a mesma quantidade que no número decimal 2). Os computadores usam o sistema binário para operações aritméticas, pois os circuitos eletrônicos dentro do computador conseguem funcionar facilmente com bits, que, para eles, são apenas voltagens (ou correntes), altas ou baixas. O circuito que realiza a soma dentro de um computador contém vários transistores, dispostos exatamente de maneira que, quando sinais altos ou baixos representando os bits de dois números são aplicados a entradas de transistores, o circuito produz a combinação certa de saídas altas e baixas para representar os bits da soma numérica. Como exatamente isto é feito está além do escopo deste livro, mas, se tudo correu bem até aqui, você agora já tem uma ideia de como funciona esse tipo de coisa.

O microprocessador do seu computador funciona de forma bastante semelhante. Ele usa um bocado de pequeninos circuitos digitais – conhecidos entre as pessoas da área como *lógica digital* – para processar operações simples, semelhantes a "2 + 2 = 4". Então, a lógica combina as saídas dessas funções, aplicando regras semelhantes para transportar/reagrupar e obter a resposta. Com o acúmulo de muitas dessas "respostas" juntas em uma complexa teia de circuitos, o microprocessador pode realizar algumas tarefas matemáticas bastante complicadas. Mas, no fundo, bem lá dentro, há apenas um bocado de lógica aplicando regrinhas simples.

Nesta seção, damos uma olhada em como os circuitos de lógica digital funcionam.

Começando com os bits

Ao unir dois dígitos, você tem dez escolhas para cada dígito (de 0 a 9) porque é assim que funciona o nosso sistema de números (conhecido como *base 10* ou *sistema decimal*). Quando um computador une dois dígitos, ele usa apenas dois dígitos possíveis: 0 e 1 (isso é conhecido como *base 2* ou *sistema binário*). Como há apenas dois, esses dígitos são conhecidos como dígitos binários, ou *bits* (binary digits). Os bits podem formar séries para representar letras ou números – por exemplo, a série de bits 1101 representa o número 13. O quadro ao lado oferece uma rápida explicação de como isso funciona.

Além de representar números e letras, os bits também podem ser usados para carregar informações. Como portadores de informações, os bits de dados são versáteis: eles podem representar muitas coisas de *dois estados* (binárias); um facho de *laser* está presente ou ausente na superfície de um DVD; uma transação de caixa eletrônico é autorizada ou não – e muito mais. Designando valores lógicos de 1 e 0 a escolhas liga/desliga específicas, você pode usar os bits para carregar informações sobre acontecimentos físicos e reais – e permitir que essa informação controle outras coisas, pelo processamento de bits em um circuito digital.

Pode-se também fazer referência ao 1 lógico e ao 0 lógico como verdadeiro e falso, ou alto e baixo. Mas o que *são* exatamente esses "uns e zeros" em um circuito digital? Eles são simplesmente correntes ou voltagens altas e baixas, controladas e processadas por transistores. No Capítulo 6, discutimos como os transistores funcionam e como eles podem ser usados como interruptores de ligar/desligar. Os níveis de voltagem comuns usados para representar dados digitais são 0 volt para o 0 lógico (baixo) e (geralmente) 5 volts para o 1 lógico (alto).

Um *byte*, do qual você já deve ter ouvido falar muito, é um agrupamento de oito bits usados como uma unidade básica de informação para armazenamento em sistemas de computadores. As memórias de computador, tal como a Random Access Memory (RAM) e dispositivos de armazenamento, como CDs e pendrive, usam bytes para organizar uma grande massa de dados. Assim como os bancos guardam moedas de diferentes valores em diferentes embalagens, para simplificar o processo de fornecimento de troco aos comerciantes para suas caixas registradoras, os sistemas de computador reúnem bits de dados em bytes para simplificar o armazenamento da informação.

Processando dados com portas

Portas lógicas, ou simplesmente *portas*, são circuitos digitais minúsculos, os quais aceitam um ou mais bits de dados como entrada e produzem apenas um bit de saída, cujo valor (1 ou 0) é baseado em uma regra específica. Assim como operadores aritméticos diferentes produzem saídas diferentes para as duas mesmas entradas (por exemplo, três *mais* dois produz cinco, enquanto três *menos* dois produz um), diferentes tipos de portas lógicas produzem diferentes saídas para as mesmas entradas:

- **Porta NOT (inversor)**: Esta porta produz uma saída que inverte a entrada: uma entrada alta gera uma saída baixa, e uma entrada baixa gera uma saída alta. Um nome mais comum da porta NOT é *inversor*.
- **Porta AND**: A saída é alta (1), somente se ambas as entradas forem altas. Se alguma das entradas for baixa (0), a saída é baixa. Uma porta AND padrão tem duas entradas, mas você pode encontrar portas AND de três, quatro e oito entradas. Para essas portas, a saída é alta apenas se *todas* as entradas forem altas.
- **Porta NAND**: Esta função comporta-se como uma porta AND seguida por um inversor (daí o NAND, que significa NOT AND). Ela produz uma saída baixa apenas se todas as suas entradas forem altas. Se alguma das entradas for baixa, a saída será alta.
- **Porta OR**: A saída é alta se uma OU (OR) outra, OU (OR) ambas as entradas forem altas. Ela somente produz uma saída baixa se ambas as entradas forem baixas. Uma porta OR padrão tem duas entradas, mas também estão disponíveis portas OR de três e quatro entradas. Para essas portas, uma saída baixa é gerada apenas quando todas as entradas forem baixas; se uma ou mais entradas forem altas, a saída é alta.
- **Porta NOR**: Comporta-se como uma porta OR seguida de uma porta NOT. Ela produz uma saída baixa se uma (ou mais) de suas entradas for alta, e gera uma saída alta apenas se todas as entradas forem baixas.
- **Porta XOR**: A porta OU exclusivo (*exclusive OR*) produz uma saída alta se uma entrada ou a outra for alta, mas não ambas; caso contrário, ela produz uma saída baixa. Todas as portas XOR têm duas entradas, mas múltiplas portas XOR podem ser cascateadas para criar um XOR de múltiplas entradas.
- **Porta XNOR**: A porta NOR exclusiva produz uma saída baixa se alguma das suas entradas for alta, mas não ambas. Todas as portas XNOR têm duas entradas.

A Figura 7-1 mostra os símbolos de circuitos dessas portas lógicas comuns.

A maioria das portas lógicas é construída usando diodos e transistores, os quais discutimos no Capítulo 6. Dentro de cada porta lógica está um circuito que dispõe esses componentes da forma exata, de modo que, ao aplicar as voltagens (ou correntes) de entrada, representando uma combinação específica de bits de entrada, você obtém uma voltagem (ou corrente) de saída que representa o bit de saída adequado. O conjunto de

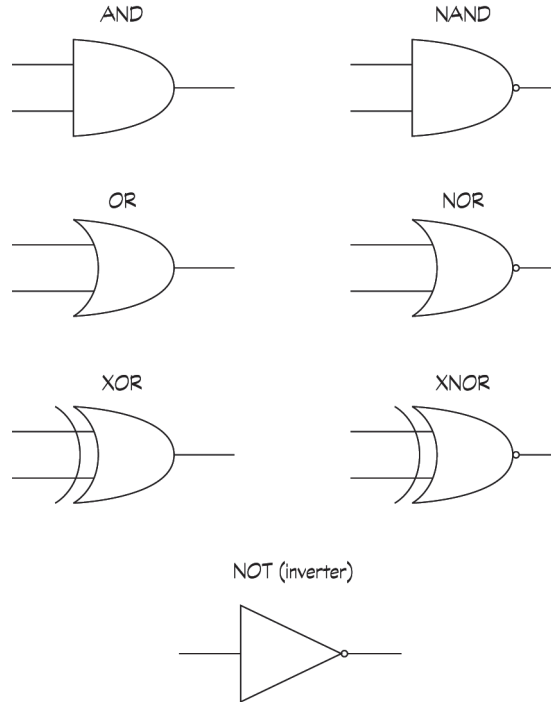



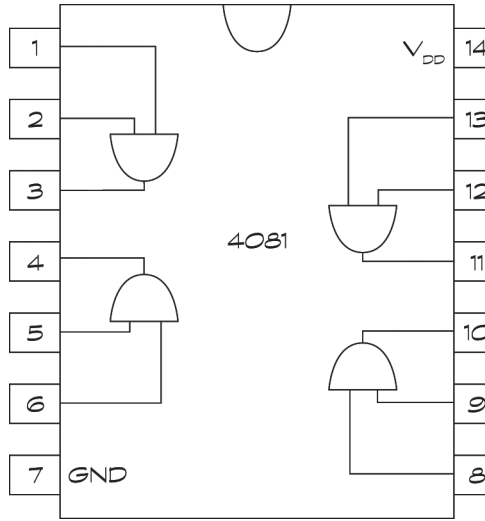
Figura 7-1: Símbolos de circuito das portas lógicas (os nomes não fazem parte dos símbolos).

circuitos construído tem um único chip com terminais, conhecidos como *pinos*, fornecendo acesso às entradas, saídas e conexões de alimentação no circuito.

Você normalmente encontra múltiplas portas lógicas vendidas em circuitos integrados, como um CI contendo quatro portas AND de duas entradas (chamadas de porta AND *quad 2-input*), como mostra a Figura 7-2. A cápsula exibe pinos que levam às entradas e à saída de cada porta, bem como outros pinos, que conectam uma fonte de alimentação aos circuitos. Procure, no site do fabricante CI, uma folha de dados (*datasheet*) que diga quais pinos são entradas, saídas, V+ (voltagem) e aterramento. Uma *folha de dados* é como um manual do usuário; ela fornece especificações técnicas e informações de desempenho sobre o chip.

Certifique-se de que o componente que você comprar tenha o número de entradas que precisa para seu projeto. Lembre-se que você pode comprar portas lógicas com mais de duas entradas. Por exemplo, você pode encontrar uma porta AND de três entradas na maioria dos fornecedores de eletrônicos.

Combinando apenas portas NAND ou portas NOR da forma certa, você pode criar quaisquer outras funções lógicas. Os fabricantes de chips geralmente constroem circuitos digitais usando NAND e NOR, quase que exclusivamente, para poderem se concentrar em suas pesquisas e esforços de desenvolvimento para melhorar o processo e o projeto de apenas duas portas lógicas básicas. É por isso que as portas NAND e NOR às vezes são chamadas de *portas universais*.

Figura 7-2: Diagrama funcional do CI padrão 4081 quad 2-input AND.

Simplificando as portas com tabelas-verdade

Rastrear todas as entradas altas e baixas às portas lógicas e as saídas que elas produzem pode ser um pouco confuso – especialmente com portas com mais de duas entradas – por isso os projetistas usam uma ferramenta chamada *tabela-verdade* para manter tudo organizado. Essa tabela lista todas as combinações possíveis de entradas e saídas correspondentes em uma dada função lógica. A Tabela 7-1 mostra tabelas-verdade para as portas lógicas AND, NAND, OR, NOR, XOR, XNOR e NOT (inversor): as duas primeiras colunas, A e B, representam os bits de entrada; as colunas restantes mostram a saída das várias portas.

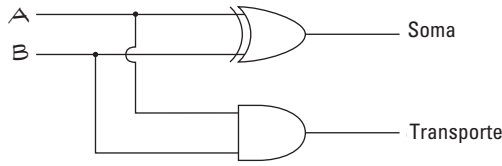
Tabela 7-1 Tabelas-Verdade para as Portas Lógicas

A	*B*	*A AND B*	*A NAND B*	*A OR B*	*A NOR B*	*A XOR B*	*A XNOR B*	*NOT A*
0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0

Você também pode usar tabelas-verdade para outros circuitos digitais, como um circuito *meiossomador*, o qual é criado para somar dois bits e produzir uma saída consistente de um bit de soma e um bit de transporte. Por exemplo, para a equação binária 1 + 1 = 10, o bit de soma é 0 e o bit de transporte é 1. A tabela-verdade do meio somador é mostrada a seguir.

A	*B*	*Transporte*	*Soma*
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Se você olhar a coluna bit de transporte na tabela-verdade para o meio somador, notará que ele parece ser igual à saída para a porta AND de duas entradas, mostrada na Tabela 7-1: isto é, o bit de transporte é o mesmo que em A AND B, onde A e B são dois bits de entrada. Semelhantemente, o bit de soma é o mesmo que em A XOR B. Qual é o significado disso? Você pode construir um meios somador usando uma porta AND para gerar o bit de transporte e uma porta XOR para gerar o bit de soma. Ver Figura 7–3.

Figura 7-3: O circuito meios somador consiste de uma porta AND e uma porta XOR

Criando componentes lógicos

Conectando vários somadores juntos da forma correta, você pode criar um circuito digital e maior que receba duas entradas de bits múltiplos, como 10110110 e 00110011, e produz sua soma, 11101001. Em notação decimal, essa soma é 182 + 51 = 233.

Você pode criar muitas outras funções complexas, ao combinar portas AND, OR e NOT. É tudo uma questão de quais portas você usa e como as interconecta. Pense na formação de palavras com letras. Com apenas 26 opções diferentes você pode criar milhões de palavras. Da mesma forma, você pode criar circuitos que realizem funções matemáticas (como somadores, multiplicadores e muitos outros) conectando um bocado de portas com a combinação certa.

Armazenando bits em registradores

Conectar dúzias de portas em uma complexa teia de circuitos traz um certo problema de tempo. Conforme as entradas da porta em um estágio de lógica mudam, as saídas da porta mudarão – mas não instantaneamente (leva algum tempo, embora seja um tempo muito curto, para cada porta reagir). Essas saídas são inseridas nas entradas de um outro estágio de lógica, e assim por diante. Dispositivos de lógica complexos usam circuitos especiais, chamados *registradores*, entre os estágios de lógica para segurar (ou armazenar) os bits de saída de um estágio, por um curto período de tempo, permitindo que eles sejam aplicados no próximo estágio de lógica. Os registradores enviam seu conteúdo e aceitam novos conteúdos logo que recebem um sinal conhecido como pulsos de relógio (*clock tick*), o qual dá a cada porta, tempo suficiente para computar sua saída. Os sinais de relógio são produzidos por circuitos temporizadores de precisão especiais (ver a seção sobre o *timer 555* mais adiante, neste capítulo, para mais informações sobre como criar 'relógios' e registradores).

Através dos anos, projetistas de circuitos digitais aperfeiçoaram o *design* dos somadores e de outros circuitos digitais comuns, descobrindo jeitos inteligentes de aumentar a velocidade de computação, reduzir a dissipação de potência e garantir que os resultados sejam precisos, mesmo com o circuito sob condições severas, como temperaturas extremas. Normalmente projetos de circuitos digitais testados e aprovados são normalmente oferecidos em CI padronizados – de forma que você e outros construtores de circuitos não tivessem que reinventar a roda.

Entendendo Como Usar CIs

Circuitos integrados não são componentes discretos – como os resistores, capacitores e transistores individuais – que têm dois ou mais terminais conectados diretamente ao componente dentro da cápsula. Os componentes miniaturizados pré-fabricados dentro de um CI já estão interconectados em um grande circuito feliz, pronto para realizar uma tarefa específica. Você só tem que somar alguns ingredientes – digamos, eletricidades em um ou mais sinais de entrada – e o CI fará sua parte. Parece simples, não? Bem, e é. Você só precisa saber como "ler" as cápsulas de CI – porque todas elas parecem criaturas pretas com muitas perninhas – para saber como fazer as conexões certas.

Identificando CIs com números de componentes

Todo CI tem um código único, como 7400 ou 4017, para identificar o tipo de dispositivo – na verdade, o circuito – que está dentro. Você pode usar esse código, também conhecido como número de componente, para procurar especificações e parâmetros sobre um CI, em um livro de referência ou recurso online. O código é impresso no topo do chip.

Muitos CIs contêm outras informações, incluindo o número de catálogo do fabricante e, talvez, até um código que representa quando o chip foi feito. Não confunda o código da data ou o número de catálogo com o número de componente usado para identificar o dispositivo. Os fabricantes não têm um padrão universal de como gravar o código de data em seus circuitos integrados, então você pode ter que fazer algum trabalho de detetive para descobrir o verdadeiro número de componente do CI.

A embalagem é tudo

Grandes coisas realmente vêm em pequenas embalagens. Muitos CIs que cabem na palma da mão contêm circuitos incrivelmente pequenos; por exemplo, todo o circuito de um rádio AM/FM (menos a bateria e a antena) cabe em uma cápsula de CI, do tamanho de uma moeda. O circuito propriamente dito é tão pequeno, que os fabricantes têm que montá-lo em uma cápsula de plástico ou cerâmica de tamanho razoável para que humanos possam usá-lo. Durante o processo de *montagem do chip*, os terminais são conectados aos pontos adequados de acesso ao circuito e colocados para fora da cápsula, de modo que você e outros da sua espécie possam fazer a corrente fluir para, através e a partir do circuito que está dentro.

Muitos CIs usados em projetos eletrônicos de *hobby* são montados em *dual inline packages* (*DIPs*), tal como os da Figura 7-4. Os DIPs (às vezes chamados de DILs) são cápsulas de formato retangular, de plástico ou cerâmica com duas fileiras paralelas de terminais, chamados *pinos*, em cada lado. Os DIPs contêm entre 8 e 52 pinos, mas os tamanhos mais comuns são de 8, 14 e 16 pinos. Os DIPs são feitos para serem *fixados através de buracos*, em placas de circuito impresso (PCB), com os pinos atravessando os buracos na placa e soldados do outro lado. Você pode soldar pinos DIP diretamente sobre uma placa de circuito, ou usar *soquetes* criados para segurar o chip, sem dobrar os pinos. Você solda as conexões do soquete de seu circuito e depois insere o chip no soquete. Os DIPs também se encaixam bem em buracos de contato de matrizes de contato (que trataremos no Capítulo 11), facilitando a criação de protótipos de circuito.

Os CIs usados em produtos fabricados em massa geralmente são mais complexos e requerem um número maior de pinos do que os DIPs fornecem. Por isso, os fabricantes desenvolveram (e continuam desenvolvendo) formas espertas de encapsular os CIs, e conectá-los às placas de circuito impresso (PCBs). Para economizar espaço na placa, a maioria dos CIs de hoje é montada diretamente em conexões metálicas, construídas nas PCBs. Isso é conhecido como *tecnologia de montagem em superfície* (SMT – *surface- mount technology*), e muitas cápsulas de CI são especialmente projetadas para serem usadas dessa forma. Uma dessas cápsulas de CI de montagem superficial é o SOIC (*small-outline integrated circuit*), o qual parece um DIP um pouco menor e mais estreito, com terminais dobrados (chamados “asas de gaivota”).

A cápsula SMT tornou-se tão amplamente adotada, que é geralmente difícil encontrar certos CIs vendidos em cápsulas DIP. Se quiser usar um CI de montagem superficial em uma protoboard sem solda (porque você pode não conseguir encontrar a variedade em DIP), procure módulos adaptadores

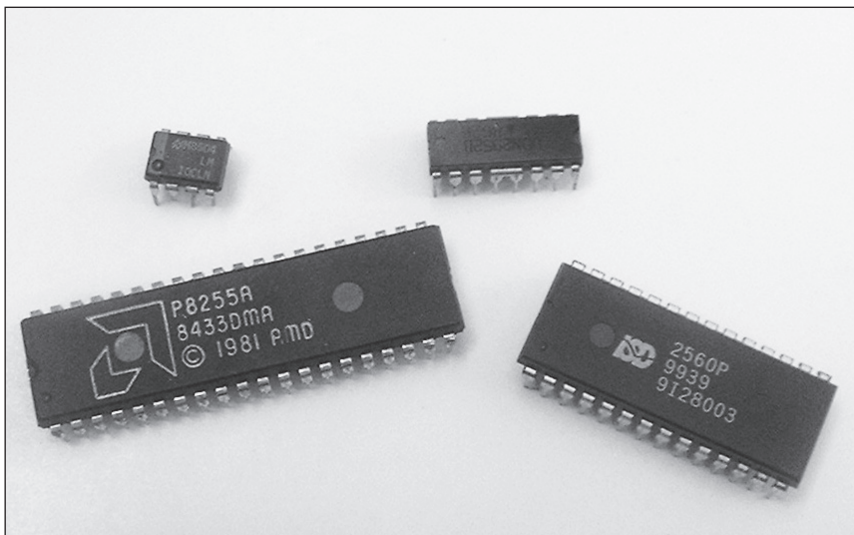



Figura 7-4: Uma forma popular de circuito integrado é a cápsula DIP (do inglês dual inline pin).

especiais para DIP, os quais convertem várias cápsulas de CI de montagem superficial em cápsulas DIP, com pinos compatíveis que você pode conectar diretamente na protoboard. Digite "adaptador DIP" ou "DIP adapter" em sua ferramenta de busca favorita na internet para ver uma lista de fornecedores desses dispositivos.

Alguns CIs são muito sensíveis à eletricidade estática (que discutimos no Capítulo 1), então, quando você armazenar seus CIs, certifique-se de guardá-los em uma espuma condutiva especial (vendida na maioria das lojas de peças eletrônicas). E, antes de manusear um CI, certifique-se de se descarregar tocando em um material condutivo que esteja conectado a um aterramento (como o gabinete metálico do seu microcomputador com aterramento, por exemplo), de modo a não levar um choque em seu CI e perguntar por que ele não está funcionado. Não conte com o encanamento de metal de sua casa para obter um condutor de dissipação de carga estática. Muitos sistemas de encanamento doméstico usam canos de plástico no trajeto, então, os canos de metal que você vê em casa não estão necessariamente conectados à terra.

Verificando pinagens de CI

Os pinos de uma cápsula de CI fornecem as conexões aos minúsculos circuitos integrados que estão dentro, mas, infelizmente, os pinos não estão sinalizados na cápsula. Então, você tem de confiar na folha de dados do CI específico para fazer as conexões adequadas. Entre outras coisas, a folha de dados fornece a *pinagem* do CI, o qual descreve a função de cada PIN.

Você encontra folhas de dados dos CIs mais comuns (e de muitos incomuns) na internet. Tente usar um motor de busca, como o Google ou o Yahoo!, para ajudá-lo na localização.

Para determinar qual o pino adequado, olhe sobre o topo do CI (não olhe por baixo, na barriga da criaturinha), e procure a *clocking mark* – geralmente uma pequena fenda na cápsula, mas também pode ser uma pequena ondulação, ou uma faixa branca ou colorida. Por convenção, os pinos de um CI são numerados em sentido anti-horário, começando pelo

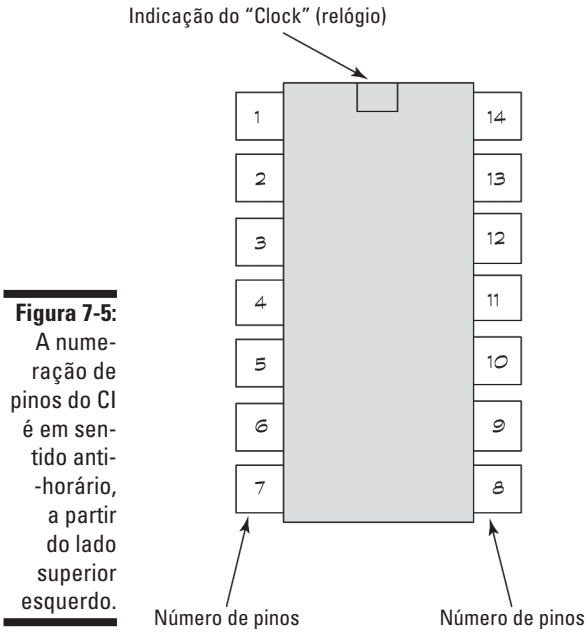



Figura 7-5: A numeração de pinos do CI é em sentido anti-horário, a partir do lado superior esquerdo.

pino superior à esquerda, mais próximo da *clocking mark*. Assim, por exemplo, se a fenda de escala que orienta o chip foi gravada na posição 12 horas, os pinos de um CI de 14 pinos são numerados de 1 a 7, de cima para baixo no lado esquerdo, e de 8 a 14, de baixo para cima no lado direito, como mostra a Figura 7-5.

Não pense que todos os CIs com o mesmo número de pinos têm as mesmas *pinagens* (disposições de conexões externas – nesses caso, pinos), ou, mesmo, que eles usem os mesmos pinos para conexões de alimentação. E nunca – *nunca!* – faça conexões aleatórias com os pinos do CI sob a noção equivocada de que você pode explorar conexões diferentes até fazer com que o CI funcione. Essa é uma forma certa de se destruir um pobre e indefeso CI.

Muitos diagramas de circuito (esquemas) indicam as conexões para circuitos integrados mostrando um contorno do CI com os números ao lado de cada pino. Os números correspondem à sequência anti-horária dos pinos do dispositivo vista de cima (lembre-se, você começa com 1 no alto à esquerda e conta conforme segue, em sentido anti-horário, ao redor do chip). Você pode facilmente conectar um CI com esses tipos de diagramas, pois não precisa procurar o dispositivo em um livro ou folha de dados. Apenas certifique-se de seguir o esquema e de contar os pinos da forma adequada.

Suprindo e dissipando corrente

Como o interior dos circuitos integrados fica escondido, é difícil saber exatamente como a corrente flui quando você conecta uma carga ou outros circuitos ao pino ou aos pinos saída do CI. Tipicamente, as folhas de dados especificam a quantidade de corrente que uma saída de CI pode *suprir* ou *dissipar*. Diz-se que uma saída supre corrente quando a corrente flui para fora do pino de saída, e *dissipa corrente* quando esta flui para dentro do pino de saída. Se você conectar um dispositivo, digamos, um resistor, entre um pino de saída e o terminal positivo de uma fonte de alimentação, e a saída for baixa (0 volt), a corrente fluirá através do resistor para dentro do CI – o CI dissipa a corrente. Se você conectar um resistor entre o pino de saída e a alimentação negativa (terra), e a saída for alta, a corrente fluirá para fora do CI e através do resistor – o CI supre a corrente. Consulte a folha de dados para saber os valores máximos de corrente suprida ou dissipada (que são geralmente os mesmos valores) de uma saída de CI.

Se, em um esquema, faltam os números dos pinos, você precisa encontrar uma cópia do diagrama de pinagem. Com CIs padrão, você encontra esse diagrama em livros de referência e online; com CIs fora de padrão, você precisa visitar o *site* para obter a folha de dados.

Baseando-se em folhas de dados de CIs

As folhas de dados de CIs são como manuais do proprietário, pois fornecem informações detalhadas sobre o interior, o exterior e usos recomendados de um circuito integrado. Elas são criadas pelo fabricante do CI, e normalmente estendem-se por várias páginas. As informações típicas contidas em uma folha de dados incluem:

- O nome do fabricante
- O nome e o número de componente da CI
- Formatos disponíveis de cápsulas (por exemplo, DIP de 14 pinos) e fotos de cada formato
- Dimensões e diagramas de pinagem
- Breve descrição funcional
- Valores nominais de mínimo/máximo (como temperatura, potência, correntes e voltagens de fonte de alimentação)
- Condições recomendadas de operação
- Formas de onda de entrada/saída (mostrando como o chip modifica um sinal de entrada)

Muitas folhas de dados incluem diagramas de circuito ilustrando como usar o CI em um circuito completo. Você pode obter um bocado de orientações e boas ideias nas folhas de dados de CI. Na maioria das vezes, vale a pena ler o manual do proprietário!

Os fabricantes costumam publicar notas de aplicação para seus circuitos integrados. Uma *nota de aplicação* (*application note* ou *app note*) é um documento de múltiplas páginas, que explica em mais detalhes do que as folhas de dados, como usar o CI em uma *aplicação* – um circuito criado para uma tarefa prática específica.

Na Companhia de Alguns CIs Populares

Atualmente, você encontra um fornecimento quase interminável de circuitos integrados no mercado, mas dois deles, em particular, são conhecidos em toda parte por sua versatilidade excepcional e sua facilidade de uso: o amplificador operacional (na verdade, uma classe de CIs) e o *timer* 555. Vale a pena conhecer bem esses dois circuitos se você pretende se aprofundar, um mínimo que seja, no desenvolvimento de seu hábito eletrônico.

Nesta seção, descrevemos esses dois populares CIs e um CI adicional, o contador de década CMOS 4017. Você encontrará o CI *timer* 555 e o CI contador de década 4017 nos projetos do Capítulo 15, então, as seções a seguir fornecerão somente um rápido panorama de como eles funcionam.

Amplificadores operacionais

O tipo mais popular de CI analógico é, sem dúvida, o *amplificador operacional*, apelidado de *amp op* ou *op amp*, criado para dar 'músculos' (amplificar) um sinal fraco. Um amp op contém vários transistores, resistores e capacitores, e oferece um desempenho mais robusto do que um só transistor. Por exemplo, um op amp pode fornecer amplificação uniforme em uma variação muito maior de frequências (*largura de banda*) do que um amplificador de apenas um transistor.

A maioria dos amp ops vem em DIPs de 8 pinos (conforme mostra a Figura 7-6), e inclui dois pinos de entrada (o pino 2, conhecido como *entrada inversora*, e o pino 3, conhecido como *entrada não inversora*) e um pino de saída (pino 6). O amp op é um tipo de *amplificador diferencial*: os circuitos dentro do amp op produzem um sinal de saída, o qual é um múltiplo da *diferença* entre os sinais aplicados às duas entradas. Usada de certa forma, essa configuração pode ajudar a eliminar o ruído (voltagens indesejadas) no sinal de entrada, subtraindo-o do que é amplificado.

Você pode configurar um amp op para multiplicar um sinal de entrada por um fator de ganho conhecido, que é determinado pelos resistores externos. Uma configuração assim, conhecida como *amplificador inversor*, é mostrada na Figura 7-7. Os valores dos resistores conectados ao amp op determinam o ganho do circuito amplificador inversor:

$$\text{Ganho} = R2/R1$$

Por exemplo, se o valor de R2 é 10kΩ, e o de R1 é 1kΩ, o ganho será 10. Com um ganho de 10, um sinal de entrada de 1 V (valor de pico) produzirá um sinal de saída (de pico) de 10 V.

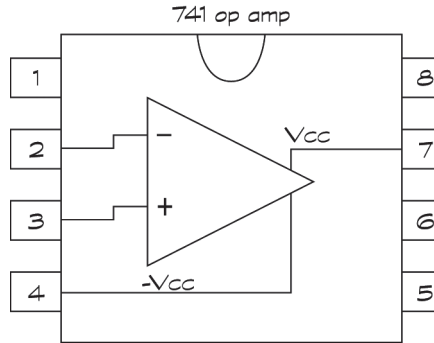
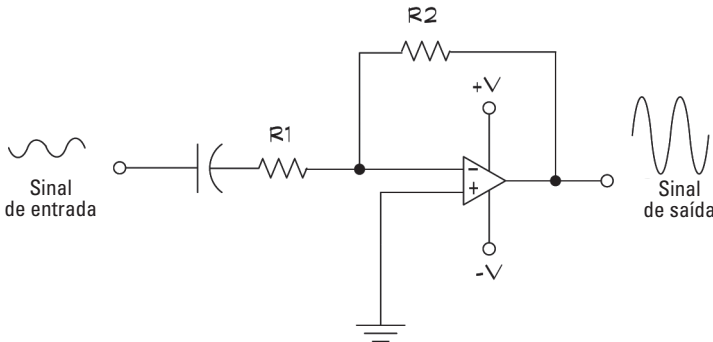
Figura 7-6: A pinagem de um amp op padrão de 8 pinos, como o LM741.

Para usar o amplificador, você só precisa aplicar um sinal (por exemplo, a saída de um microfone) entre os pinos de entrada; o sinal, amplificado várias vezes, aparece depois na saída, onde pode acionar um componente (como um alto-falante). Devido à forma como o amp op da Figura 7-7 está configurado, o sinal de entrada será *invertido* para produzir o sinal de saída.

Figura 7-7: O circuito de um amp op inversor fornece ganho uniforme em uma grande variedade de frequências.

A maioria dos amp ops necessita tanto de voltagens de alimentação positivas como de negativas. Uma voltagem de alimentação positiva na variação de 8 a 12 V (conectada ao pino 7) e uma voltagem de alimentação negativa na variação de -8 a -12 V (conectada ao pino 4) funcionam. Se estiver procurando uma leitura leve, você pode ver as notas de aplicação sobre como operam tais amp ops de fonte dupla usando uma fonte de alimentação simples.

Há um bocado de amp ops diferentes disponíveis a preços que variam de alguns centavos por um CI de amp op padrão, como o amp op para fins gerais LM741, a mais de 100 dólares por amp ops de alto desempenho.

A máquina do tempo em forma de CI: o timer 555

Um dos circuitos integrados mais populares e fáceis de encontrar é o versátil *timer* 555, apresentado pela primeira vez em 1971 e ainda amplamente utilizado hoje em dia, com mais de um bilhão de unidades produzidas todos os anos. Esse pequeno 'burro de carga' pode ser usado em uma variedade de funções, tanto em circuitos analógicos quanto digitais, comumente como temporizador de precisão (compreendendo desde microssegundos até horas), sendo a base de muitos projetos que você pode construir (incluindo vários do Capítulo 15).

A Figura 7–8 ilustra as atribuições dos pinos do *timer* 555. Entre as funções dos pinos, estão:

- **Entrada de gatilho – trigger input**: Quando você aplica uma voltagem baixa ao pino 2, ativa o circuito temporizador interno para que comece a trabalhar. Isso é conhecido como *active low trigger*.
- **Pino de saída – output pin**: A forma de onda de saída aparece no pino 3.
- **Reset**: Se você aplica uma voltagem baixa ao pino 4, reinicia a função de temporização, e o pino de saída (pino 3) fica baixo. Alguns circuitos não usam a função *reset*, e este pino é conectado à alimentação positiva.
- **Entrada de controle de voltagem**: Para sobrescrever o circuito de gatilho interno (o que você não faz, normalmente), você aplica uma voltagem ao pino 5. Do contrário, conecta o pino 5 ao aterramento, de preferência através um capacitor de 0,01 μF.
- **Entrada de Threshold**: Quando a voltagem aplicada ao pino 6 atinge um certo limite (geralmente dois terços da voltagem de alimentação positiva), o ciclo de temporização acaba. Você conecta um resistor entre o pino 6 e a alimentação positiva. O valor desse *resistor temporizador* influencia a duração do ciclo de temporização.
- **Pino de descarga**: Você conecta um capacitor ao pino 7. Esse tempo de descarga do *capacitor temporizador* influencia na duração dos intervalos de temporização.

Você encontra vários modelos de CI *timer* 555. O *timer* 556 é uma versão dupla do *timer* 555, encapsulado em um DIP de 14 pinos. Os dois *timers*, dentro deles, dividem os mesmos pinos de alimentação.

Conectando alguns resistores, capacitores e interruptores nos vários pinos do *timer* 555, você consegue que essa pequena joia realize muitas funções diferentes – e com uma facilidade notável. Você encontra informações detalhadas e fáceis de ler sobre suas várias aplicações em folhas de dados. Discutimos três formas populares de configurar um circuito, usando um 555, aqui.

Multivibrador astável (oscilador)

O 555 pode se comportar como um *multivibrador astável*, que é apenas um termo de luxo para descrever uma espécie de metrônomo eletrônico. Conectando componentes ao chip (como mostra a Figura 7-9), você configura o 555 para produzir uma série contínua de pulsos de voltagem,

os quais se alternam automaticamente entre baixos (0 volt) e altos (a voltagem de alimentação positiva, V_A), conforme mostra a Figura 7–10. O termo *astável* refere-se ao fato de que este circuito não se acomoda em um estado estável, mas se mantém mudando sozinho entre dois estados diferentes. Este circuito autoativador é conhecido como *oscilador*.

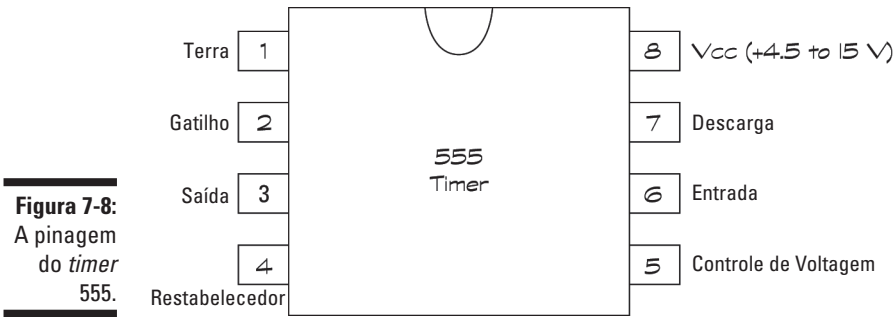



Figura 7-8: A pinagem do *timer* 555.

Você pode usar o multivibrador astável 555 para muitas coisas divertidas:

- **Luzes que piscam**: Um trem de pulsos de baixa frequência (<10 Hz) pode controlar a operação liga/desliga de um LED ou luminária (ver o projeto *luzes que piscam* no Capítulo 15).
- **Metrônomo eletrônico**: Use um trem de pulsos de baixa frequência (<20 Hz) como entrada para um alto-falante ou um transdutor piezoeletrônico para gerar um som de 'clique' periódico.
- **Soar um alarme**: Ajustando a frequência à variação de áudio (20Hz a 20 kHz) e inserindo a saída em um alto-falante ou transdutor piezoeletrônico, você pode produzir um som alto e irritante (ver os projetos *alarme sonoro* e *luminoso* do Capítulo 15).
- **Coordenar um chip lógico**: Você pode ajustar as larguras de pulso para corresponderem às especificações no sinal que coordena a lógica dentro de um chip, como o contador de década 4017 que descreveremos mais à frente neste capítulo (ver o projeto *gerador de efeitos luminosos* no Capítulo 15).

A frequência *f* (em hertz), que é o número de ciclos completos para cima e para baixo por segundo, da onda quadrada produzida é determinada por sua opção de três componentes externos, conforme esta equação:

$$F = \frac{1,4}{(R_1 + 2R_2) \times C_1}$$

Se você inverter o numerador e o denominador nessa equação, você obtém o *período de tempo* (T), que é a duração de tempo (em segundos) de um pulso completo para cima e para baixo:

$$T = 0,7 \times (R_1 + 2R_2) \times C_1$$

Figura 7-9: A conFiguração de um circuito multivibrador astável 555.

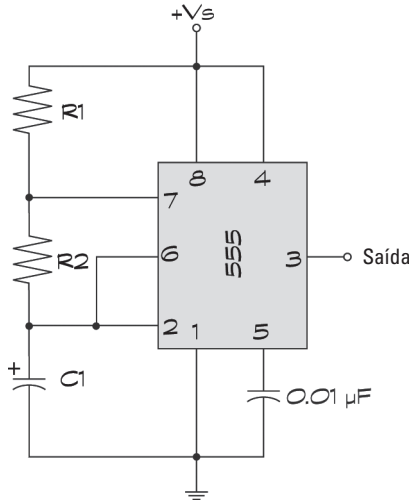
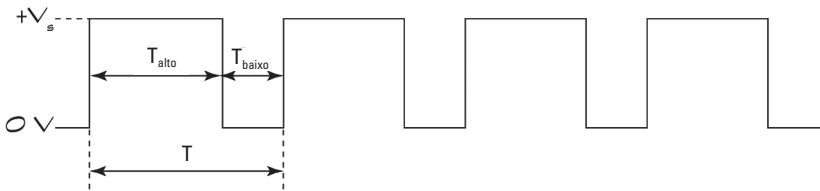



Figura 7-10: Série de pulsos de voltagem de um circuito multivibrador astável 555. Componentes externos controlam a largura de pulso.

Você pode configurar seu circuito de modo que a largura da parte alta do pulso seja diferente da largura da parte baixa. Para descobrir a largura da parte alta (escrita como T_{alto}), use a seguinte equação:

$$T_{alto} = 0{,}7 \times (R_1 + R_2) \times C_1$$

Você encontra a largura da parte baixa do pulso (escrita como T_{baixo}) assim:

$$T_{baixo} = 0{,}7 \times R_2 \times C_1$$

Se R_2 for muito, muito maior do que R_1, as larguras de pulso altas e baixas serão bastante iguais. Se $R_2 = R_1$, a porção alta do pulso será duas vezes a largura da porção baixa. Você entendeu?

Você também pode usar um potenciômetro (resistor variável) em série com um pequeno resistor como R_1 ou R_2 e ajustar sua resistência para variar os pulsos.

Para escolher valores para R_1, R_2 e C_1, sugerimos que siga estes passos:

1. **Escolha C_1.** Decida que variação de frequência você quer gerar e escolha um capacitor apropriado. Quanto mais baixa for a variação de frequência, mais alto deverá ser o capacitor escolhido. Suponha que R1 e R2 fiquem em algum ponto da variação 10kΩ - 1MΩ. Em muitas aplicações de baixa frequência, os valores e o capacitor entre 0,1 μF e 10 μF funcionam bem. Em aplicações de frequência mais alta, escolha um capacitor na variação entre 0,01 μF e 0,001 μF.
2. **Escolha R_2.** Decida a largura que a parte baixa do pulso deve ter, e escolha o valor de R_2 que produzirá essa largura, dado o valor de C_1 que você já determinou.
3. **Escolha R_1.** Decida a largura que a parte alta do pulso deve ter. Usando os valores de C_1 e C_2 já selecionados, calcule o valor de R_1 que produzirão a largura de pulso alto desejada.

Multivibrador monoestável (one shot)

Configurando o *timer* 555 como mostra a Figura 7-11, você pode usá-lo como um *multivibrador monoestável* que gera um só pulso quando acionado. Ele às vezes é chamado de *disparo único* (*one shot*). Sem gatilho, esse circuito produz voltagem baixa (zero), que é seu estado constante. Quando acionado pelo fechamento do interruptor entre o pino 2 e o aterramento, esse circuito gera um pulso de saída no nível da voltagem de alimentação, V_A. A largura do pulso, T, é determinada pelos valores de R_1 e C_1, da seguinte forma:

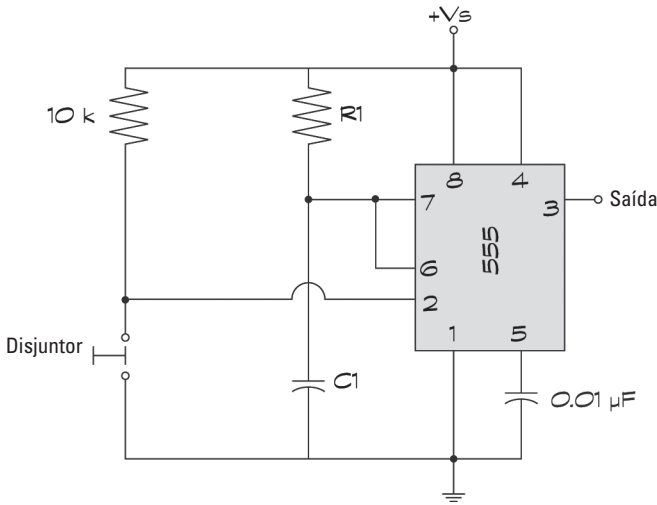
$$T = 1{,}1 \times R_1 \times C_1$$

Como os valores podem geralmente variar em até 20%, você pode precisar escolher um resistor com um valor um pouco diferente do que a fórmula sugere, de modo a produzir a largura de pulso que deseja.

Você pode usar um 'disparo único' para acionar com segurança um dispositivo lógico digital (como o contador de década CMOS descrito mais à frente neste capítulo). Os interruptores mecânicos tendem a "bater e voltar" quando fechados, produzindo *spikes* de voltagem que um CI digital pode interpretar mal, como sinais de gatilhos múltiplos. Em vez disso, se você acionar um 'disparo único' com um interruptor mecânico e usar a saída do 'disparo único' para acionar o CI digital, você pode efetivamente tirar o efeito "bate-e-volta" do interruptor.

Multivibrador biestável (flip-flop)

Se um circuito astável não tem um estado constante, e um circuito monoestável tem, então, o que é um circuito biestável? Se você chutou que um circuito biestável é um circuito com dois estados, está correto. O *multivibrador biestável* 555 mostrado na Figura 7-12, produz voltagens altas (V_S) e baixas (0 V), passando de um estado a outro apenas quando acionado. Tal circuito é comumente conhecido como *flip-flop*. Não há necessidade de calcular valores de resistor; ativar o interruptor de gatilho é controla a temporização dos pulsos gerados.

Figura 7-11: Acionado pelo fechamento do interruptor no pino 2, o circuito monoestável 555 produz apenas um pulso, cuja largura é determinada pelos valores de R1 e C1.

Como fica baixo ou alto até ser acionado, o flip-flop pode ser usado para armazenar um bit de dados (lembre-se, um bit é um 0 ou um 1, que é, respectivamente, uma voltagem alta ou baixa). Os registros usados para armazenar saídas temporariamente entre estágios de lógica consistem em múltiplos flip-flops. Os flip-flops também são usados em certos circuitos contadores digitais, segurando os bits em uma série de registros interconectados que forma uma sequência, da qual as saídas formam uma sequência que representa a contagem.

Você pode usar vários tipos de circuitos *timer* 555 para acionar outros circuitos *timer* 555. Por exemplo, você pode usar um oscilador para acionar um flip-flop (útil para registros de coordenação). Ou você pode usar um 'disparo único' para produzir um tom de volume baixo temporário – e, quando ele acabar, mudar o estado do flip-flop, cuja saída aciona um oscilador que pulsa um alto-falante para ligá-lo e desligá-lo. Um circuito assim pode ser usado em um sistema de alarme doméstico: ao entrar na casa, o dono (ou o intruso) tem 10 segundos, ou quase, para desativar o sistema (enquanto ouve um tom de aviso, de volume baixo) – ou a sirene acordará os vizinhos.

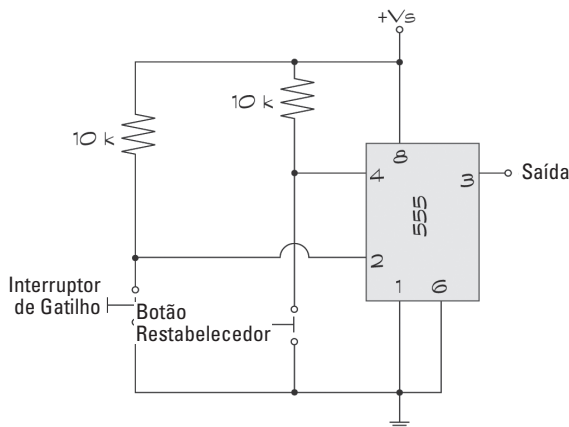
Conheça as famílias lógicas

Há muitas formas do fabricantes construírem circuitos integrados. Uma porta pode ser construída usando um resistor e um transistor, ou apenas transistores bipolares, ou apenas MOSFETs (outro tipo de transistor), ou outras combinações de componentes. Certas abordagens de projeto facilitam espremer um bocado de minúsculas portas reunidas em um chip, enquanto outras abordagens de projeto resultam em circuitos rápidos, ou de consumo menor.

Todo CI digital é classificado de acordo com a abordagem de projeto e a tecnologia de processamento usadas para construir seus minúsculos circuitos. Essas classificações são chamadas de *famílias lógicas*. Há literalmente dúzias de famílias lógicas, mas as duas famílias mais famosas são a TTL e a CMOS.

TTL, ou *lógica transistor-transistor*, usa transistores bipolares para construir portas e amplificadores. É relativamente barato fabricar CIs TTL, mas eles geralmente puxam muito mais energia e requerem uma fonte de alimentação específica (5 volts). Há vários ramos dentro da família TTL, com destaque para a série *Schottky de baixa potência* que puxa cerca de um quinto da energia do da tecnologia convencional TTL. A maioria dos CIs TTL usa formatos 74*xx* e 74*xxx* como número de componentes, onde *xx* ou *xxx* especificam um tipo de dispositivo lógico. Por exemplo, o 7400 significa quatro portas NAND de duas entradas. A versão Schottky de baixa potência deste componente é codificada como 74LS00.

CMOS, que em inglês significa *complementary metal-oxide semiconductor* (traduzindo, semicondutor metal-óxido complementar), é um tipo de tecnologia usada para criar MOSFETs (metal-oxide semiconductor field--effect transistors — transistores de efeito de campo de semicondutor metal-óxido). Você percebe por que esta família abreviou seu nome para CMOS! Os chips CMOS são um pouco mais caros do que seus equivalentes TTL, mas puxam muito menos energia e operam em uma variação maior de voltagens de alimentação (de 3 a 15 volts). Eles são muito sensíveis à eletricidade estática, por isso requerem manuseio especial. Alguns chips CMOS são equivalentes 'pino por pino' aos chips TTL e são identificados por um "C" no meio do número de componentes. Por exemplo, o 74C00 é um componente de quatro portas NAND com duas entradas, com a mesma pinagem que seu primo, o CI TTL 7400. Nos chips da série 40xx, por exemplo, o contador de década 4017 e o CI de display de 7 segmentos também são membros da família CMOS.

Figura 7-12: O circuito biestável 555 (ou flip-flop) produz uma saída de alta voltagem, quando acionado pelo interruptor no pino 2, e por uma saída baixa, quando reiniciado pelo interruptor no pino 4.

Contando com o contador de década 4017

O CMOS contador de década 4017 mostrado na Figura 7-13 é um CI de 16 pinos que "conta" de 0 a 9 quando acionado. Os pinos 1-7 e 9 -11 vão de alto a baixo, um de cada vez, quando o sinal do gatilho é aplicado ao pino 14. É claro que eles não vão de alto a baixo estritamente no sentido anti-horário; você tem que verificar a pinagem para determinar a ordem. Você pode usar as saídas de contagem para acender LEDs (como no projeto *gerador de efeitos luminosos* do Capítulo 15) ou acionar um 'disparo único' que controla outro circuito.

A contagem pode ocorrer somente quando o pino *desabilitar*, ou o *disable pin* (pino 13) estiver baixo; você pode desabilitar a contagem, ao aplicar um sinal alto ao pino 13. Você também pode forçar o contador a voltar ao zero (o que significa que a saída de contagem "zero", que é o pino 3, fica alto) aplicando um sinal alto (+V) ao pino 14.

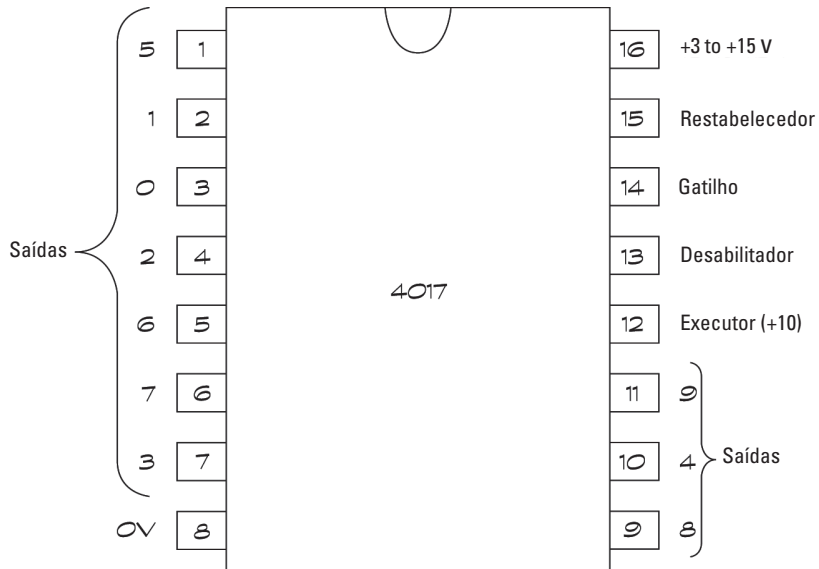



Figura 7-13: Pinagem do CMOS contador de década 4017.

Juntando múltiplos CIs 4017, você pode contar até dezenas, centenas, milhares, e assim por diante. O pino 12 está alto quando a contagem vai de 0 a 4, e baixo quando a contagem vai de 5 a 9; então, ele parece um sinal de gatilho que se modifica à taxa de um décimo da contagem. Se você inserir a saída do pino 12 na entrada de gatilho (pino 14) de outro contador de década, esse segundo contador contará até dezenas. Inserindo a saída do pino 12 do segundo contador em um pino 14 de um terceiro contador, você pode contar até centenas. Com um número suficiente de CIs 4017, você é capaz de contar a dívida nacional!

Você também pode conectar duas ou mais saídas do contador usando diodos para produzir uma sequência de temporização variável. Para fazer isso, conecte cada ânodo (lado positivo do diodo) a um pino de saída, e conecte todos os cátodos (lados negativos dos diodos) de modo a uni-los, e depois fazendo-os passar através de um resistor. Com essa disposição, quando qualquer uma das saídas estiver alta, a corrente fluirá através do resistor. Por exemplo, você pode simular a operação de um semáforo unindo as saídas 0 a 4 e inserindo o resultado (através de um resistor) em um LED vermelho, conectando a saída 5 a um LED amarelo, e unindo as saídas 6 a 9 para controlar um LED verde.

Microcontroladores e outros CIs populares

Entre as outras funções comuns proporcionadas pelos CIs, estão as operações matemáticas (soma, subtração, multiplicação e divisão), a *multiplexação* (selecionar uma única saída entre as várias entradas), e a conversão de sinais entre analógicos e digitais:

- Você usa um conversor *analógico-digital (A/D)* para converter um sinal analógico do mundo real em um sinal digital para que possa processá-lo com um computador ou outro sistema de eletrônica digital.
- Você usa um conversor *digital-analógico (D/A)* para converter um sinal digital processado de volta a um sinal analógico. Por exemplo, você precisa de um sinal analógico para vibrar os auto-falantes do sistema de computador de sua casa.

Claro, o *microprocessador* que gerencia o seu computador pessoal (e talvez até a sua vida pessoal) também é muito popular em se tratando de CI.

Entre os circuitos integrados mais versáteis que você pode encontrar está o microcontrolador. Um *microcontrolador* é um pequeno e completo computador em um chip. Para programá-lo, você o coloca em uma placa de desenvolvimento que permite que o CI interaja com seu computador pessoal. Depois de programado, você monta o microcontrolador em um soquete do seu dispositivo eletrônico. Você adiciona alguns outros componentes – em circuitos que fornecem uma interface entre o microcontrolador e seu computador, motores ou interruptores – e *voilà*! Seu pequeno CI programado faz as coisas acontecerem (por exemplo, ele pode controlar o movimento de um robô). O bom do microcontrolador é que você pode simplesmente alterar algumas linhas do código (ou reprogramá-lo completamente) para modificar o que ele faz; você não precisa trocar fios, resistores e outros componentes para fazer este flexível CI assumir uma nova personalidade.

Expandindo Seus Horizontes de CI

Os circuitos integrados envolvem muito mais do que podemos abordar neste livro. Inteligentes projetistas de circuitos estão sempre criando novas ideias e melhoramentos para alguma das ideias antigas, para que haja uma boa quantidade de opções no mundo dos circuitos integrados.

Você pode colocar a sua lógica para ser testada, ao construir um circuito simples, usando um CI 4011 de quatro portas NAND de duas entradas, como mostra o Capítulo 14. Com esse circuito de treino, você ganha experiência em conectar componentes de circuitos externos a pinos de um chip de CI. O Capítulo 15 inclui vários projetos envolvendo outros CIs.

Se estiver interessado em observar mais a fundo os incríveis CIs, consulte o Apêndice para ver alguns sites interessantes que fornecem informações úteis do tipo como fazer para usar vários CIs em projetos funcionais.

Capítulo 8

Arredondando Sua Lista de Componentes

Neste Capítulo:

- Escolhendo o tipo perfeito de fio
- Energizando com baterias e células solares
- Controlando conexões com interruptores
- Disparando circuitos com sensores
- Transformando eletricidade em luz, som e movimento

Apesar dos componentes individuais e circuitos integrados, discutidos nos capítulos anteriores, formarem um time de primeira linha, quando chega a hora de dar forma ao fluxo de elétrons nos circuitos eletrônicos, há um conjunto de outras partes na qual o time de primeira linha confia para fazer o serviço.

Muitas dessas outras partes – como fios, conectores e baterias – são ingredientes essenciais em qualquer circuito eletrônico. Afinal de contas, seria difícil construir um circuito eletrônico sem fios, para conectar as coisas, ou uma fonte de energia para fazer as coisas funcionarem. Com relação às outras partes que nós discutiremos neste capítulo, você pode vir a usá-las apenas de vez em quando, para certos circuitos. Por exemplo, você precisa fazer barulho, uma campainha com certeza é necessária – mas você não vai querer usar uma para cada circuito que construir.

Neste capítulo, discutiremos um conjunto misto de componentes, alguns dos quais você deve manter em estoque (como você faz com papel higiênico e pasta de dentes – assim esperamos), enquanto outros podem ser conseguidos somente quando precisar.

Fazendo Conexões

Fazer um circuito requer que você conecte componentes, para permitir que a corrente elétrica flua entre eles. As seguintes seções descrevem fios, cabos e conectores que permitem que você faça exatamente isso.

Escolhendo os fios sabiamente

O fio que é usado em projetos eletrônicos é apenas um longo filamento de metal, normalmente feito de cobre. Este tem apenas uma função: permitir que os elétrons viajem através dele. Entretanto, você pode encontrar algumas variações nos tipos de fios disponíveis. Nas seções seguintes, vamos lhe dar o básico sobre qual tipo de fio escolher, para várias situações.

Stranded ou sólido?

Corte o fio de qualquer luminária doméstica (apenas *depois* de retirar a lâmpada, é claro), e você verá dois ou três pequenos feixes de fios muito finos, cada qual envolto em isolante. Isto é chamado fio *stranded*. Outro tipo de fio é chamado de fio *sólido*, e consiste de um único fio (mais grosso) envolto em isolante. Você pode ver exemplos de fios *stranded* e sólidos na Figura 8-1.

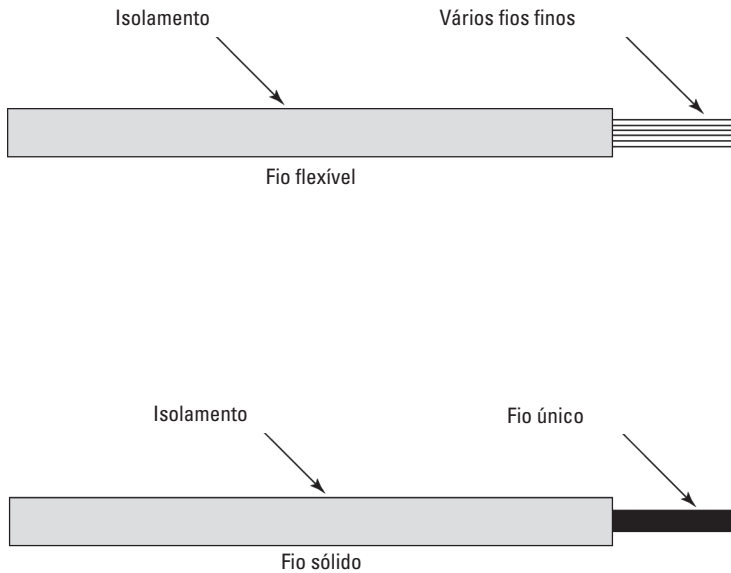



Figura 8-1: Você pensa que fio é apenas fio? Pense de novo. Tanto fios sólidos quanto *stranded* são comumente usados em eletrônica.

Fio *stranded* é muito mais flexível que fio sólido e você o usa em situações nas quais o fio será muito movimentado e torcido (como para fios para lâmpadas e os cabos para seu sistema de som). Você usa fio sólido em lugares onde você não planeja movimentar muito o fio, e para conectar componentes nas *protoboards* (veja o Capítulo 11 para saber mais sobre *protoboards*). É fácil inserir um fio sólido nos buracos da *protoboard*, mas se você usar o fio *stranded*, você terá que torcer os fios para pô-los todos no buraco, e poderá quebrar um fio ou outro no processo (Confie na gente! Isso acontece!), o que pode dar curto no circuito.

Estimando o gauge (a bitola) do fio[2]

Você se refere ao diâmetro do fio com a *bitola do fio*. Por algum motivo, a relação entre a bitola do fio e o diâmetro do fio em eletrônica é essencialmente oposta: Quanto menor a bitola, maior o diâmetro. Você pode ver diâmetros comuns de fios na Tabela 8-1.

Tabela 8-1 Fios Comumente Usados em Projetos de Eletrônica

Gauge do Fio	*Diâmetro do Fio (polegadas)*	*Usos*
16	0,051	aplicações pesadas de eletrônica
18	0,040	aplicações pesadas de eletrônica
20	0,032	a maioria dos projetos de eletrônica
22	0,025	a maioria dos projetos de eletrônica
30	0,01	conexões *wire-wrap* em placas de circuitos

Para a maioria dos projetos de eletrônica, incluindo os dos Capítulos 14 e 15, neste livro, você vai usar fio de gauge (bitola) 20 ou 22. Se você estiver conectando um motor a uma fonte de energia, precisará usar fios de gauge (bitola) 16 ou 18. Ao progredir na eletrônica, você pode acabar conectando componentes em placas de circuitos especiais, utilizando uma técnica chamada *wire-wrapping* (discutida no Capítulo 11), que pede por fios menores [gauge (bitola) 28 ou 30].

Você às vezes verá o gauge abreviado de maneiras estranhas e maravilhosas. Por exemplo, você pode ver um gauge 20 abreviado como 20 ga., #20 ou 20 AWG (AWG significa *American Wire Gauge*).

Se você começar a trabalhar em um projeto, envolvendo maiores voltagens e correntes que as descritas neste livro, consulte as instruções do seu projeto ou uma referência confiável para determinar o gauge de fio apropriado. Por exemplo, a *National Electrical Code* lista os gauges de fios requeridos para cada tipo de fiação que você usará na casa. Tenha certeza de que você também já possui as habilidades certas e o conhecimento suficiente sobre procedimentos de segurança, para trabalhar em tal projeto.

O colorido mundo dos fios

Assim como as faixas coloridas que desvendam o segredo do valor dos resistores, a coloração do isolante ao redor do fio pode ajudar você a manter nota das conexões em um circuito. É uma prática comum, quando estiver conectando um circuito DC (por exemplo, quando você estiver trabalhando com uma *protoboard*), use um fio vermelho em todas as conexões para uma voltagem positiva (+V) e um fio preto em todas as conexões para a voltagem negativa (-V) ou para o terra). Para circuitos AC, use verde para conexões com o terra. Amarelo ou laranja são frequentemente usados para sinais de entrada; por exemplo, como sinal de um microfone para um circuito. Se você mantiver diversas cores de fios à mão, poderá codificar com cores as conexões dos seus componentes, de forma que seja fácil dizer o que está acontecendo num circuito, apenas dando uma olhada rápida (a menos, claro, que você seja daltônico).

Coletando fios em cabos

Cabos são realmente grupos de dois ou mais fios, protegidos por uma camada externa de isolamento. Os fios que trazem energia AC de uma tomada na parede para um dispositivo elétrico, como uma lâmpada, são cabos, assim como os fios do emaranhado de conexões do seu sistema de som. Cabos diferem dos fios *stranded*, porque os fios usados em cabos são separados por isolante.

Ligando-se aos conectores

Se você olhar para um cabo – digamos, aquele que vai do seu computador para a sua impressora – verá que ele tem cabeças de metal ou plástico, nas duas pontas. Essas cabeças são chamadas de *plugues*, e eles representam um tipo de *conector*. Existem também receptáculos de metal ou plástico no seu computador e impressora, nos quais esses cabos se encaixam. Eles representam outro tipo de conector, chamado de *soquete*. Os vários pinos e buracos nos conectores conectam o fio apropriado do cabo ao fio apropriado do aparelho.

Há diversos tipos de conectores, usados para várias finalidades. Dentre os que você provavelmente vai encontrar nas suas aventuras eletrônicas estão:

- Um *terminal* e um *bloco terminal* trabalham juntos como tipos mais simples de conector. Um bloco terminal contém conjuntos de pares de parafusos, você liga o bloco à caixa ou chassis do seu projeto. Então, para cada fio que queira conectar, você solda (ou crimpa) o fio em um terminal. Depois, conecta cada terminal a um parafuso no bloco. Quando você quiser conectar dois fios, um no outro, simplesmente pegue um par de parafusos e conecte o terminal de cada fio a um dos parafusos.
- *Plugues* e *soquetes* que carregam sinais de áudio entre partes de equipamento, como uma guitarra e um amplificador, possuem cabos como o que você vê na Figura 8-2. Plugues em cada ponta do cabo conectam-se a soquetes no equipamento. Esses cabos contêm um ou dois fios de sinal (que levam o sinal real de áudio) e uma *blindagem* metálica ao redor dos fios. A blindagem metálica protege os fios de sinal das interferências elétricas (conhecida como *ruído*), ao minimizar a introdução de correntes espúrias nos fios.
- Você tipicamente usa *pin headers* para trazer sinais de/e para placas de circuitos, que são finas placas projetadas para conter um circuito permanente. *Pin headers* são úteis para projetos eletrônicos complexos, que envolvam múltiplas placas de circuito. A maioria dos *pin headers* consiste de uma ou duas fileiras de pinos de metal em um bloco de plástico, que você monta na placa de circuito. Você conecta o *pin header* ao conector compatível no fim de um *ribbon cable*, ou *cabo flat* – uma série de fios isolados postos juntos, lado a lado, para formar um cabo plano e flexível. A forma retangular do conector permite um fácil roteamento dos sinais de cada fio no cabo, para a parte correta da placa de circuitos. Você se refere aos *pin headers* pelo número de pinos que eles usam; por exemplo, você pode falar de um *header* de 40-pinos.

Figura 8-2: Um cabo com um plugue em cada ponta, conecta com soquetes montados em dois tipos de equipamentos eletrônicos.

A eletrônica usa uma variedade de conectores que você não tem com o que se preocupar, até estar fazendo projetos mais complexos. Se você quiser descobrir mais sobre a vasta gama de conectores, poderá olhar alguns dos catálogos ou *sites* de fornecedores, listados no Capítulo 17. A maioria dedica uma categoria inteira de produtos aos conectores.

Energizando

Todos os fios e conectores do mundo não irão adiantar, se você não tiver uma fonte de energia. No Capítulo 2, nós discutimos as fontes de eletricidade, incluindo voltagem AC das tomadas da parede e voltagem DC de baterias e células solares (também conhecidas como células fotovoltaicas). Aqui nós discutiremos como escolher uma fonte de energia e como alimentar seus circuitos com essa potência.

Fazendo correr os fluidos com as baterias

Para a maioria dos projetos de eletrônica para *hobby*, células ou baterias – que são combinações de células – são o que usar; o símbolo usado para representar uma célula – e comumente usado para representar uma bateria – em um diagrama de circuito é mostrado aqui. Células são relativamente

leves e portáteis e, combinando múltiplas células em série, você pode criar uma variedade de fontes de voltagem DC. Pilhas comuns, tais como as AAA-, AA-, C- e D-, todas produzem 1,5 volts cada. Uma bateria de 9 volts (algumas vezes chamada de *bateria transistor* ou bateria PP3) tem a forma de um tijolinho e contém seis células de 1,5 volt. Algumas marcas baratas podem conter apenas cinco células de 1,5 volt. Uma *bateria de lanterna* (uma coisa quadrada que pode energizar uma lanterna do tamanho de uma *boom box*) produz uns 6 volts.

Conectando baterias aos circuitos

Você pode usar um clip para baterias de 9 volts (mostrado na Figura 8-3) para conectar uma bateria individual de 9 volts ao circuito. Clips de bateria ligam-se aos terminais da bateria (aquelas pontas no topo da bateria são conhecidas como conectores PP3); eles contêm fios vermelho e preto, que você pode conectar ao seu circuito. Você retira o isolamento do fim dos fios vermelho e preto e então conecta as pontas (as pontas expostas) ao seu circuito. Você pode conectar as pontas aos terminais, inseri-los em buracos na *protoboard*, ou soldá-los diretamente aos componentes. Discutiremos todas essas técnicas no Capítulo 11.

Quando você conecta o terminal positivo de uma bateria ao terminal negativo de outra, a voltagem total, através dessa conexão em série, é a soma das voltagens individuais das baterias. Agrupadores de baterias (como o mostrado na Figura 8-4) fazem conexões em série entre baterias para você, enquanto mantêm as múltiplas baterias no lugar. Os fios vermelho e preto do agrupador de bateria fornecem acesso à voltagem total. Alguns agrupadores de bateria fornecem acesso à voltagem, através de pontas conectoras PP3.

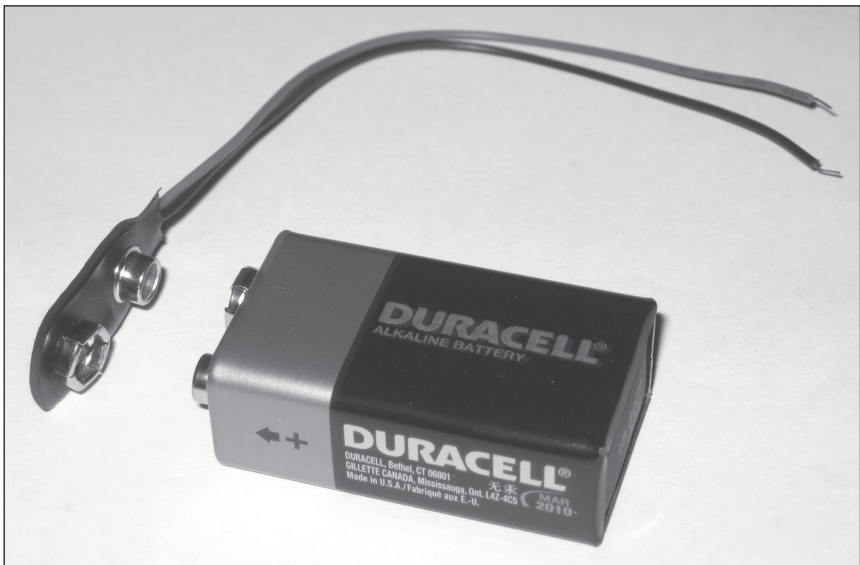



Figura 8-3: Um clip de bateria torna fácil conectar uma bateria de 9 volts ao seu circuito.

Figura 8-4: Quatro pilhas de 1,5 volts em um agrupador de bateria produzem 6 volts nos fios vermelho e preto.

Listando baterias pelo conteúdo

Baterias são classificadas pelos produtos químicos que contêm, e o tipo de produto químico determina se a bateria é recarregável. Os seguintes tipos de baterias estão disponíveis:

- **Baterias não recarregáveis:**
  - **Zinco-carbono –** Baterias deste tipo vêm em uma variedade de tamanhos (AAA, AA, C, D e 9 volts, entre outros) e são a ponta mais baixa da cadeia alimentar das baterias. Elas podem não custar muito, mas também não duram muito.
  - **Alcalinas –** Baterias desse tipo também vêm em uma variedade de tamanhos, e duram até três vezes o tempo das baterias de zinco-carbono. Nós sugerimos começar com este tipo de bateria em seus projetos. Se você se encontrar substituindo-as muito frequentemente, poderá subir um degrau e usar baterias recarregáveis.
  - **Lítio –** Baterias leves de lítio geram voltagens maiores – uns 3 volts – do que outros tipos e possuem uma capacidade de corrente maior do que as baterias alcalinas. Elas custam mais, e você não pode recarregar a maioria das baterias de lítio, mas quando seu projeto (por exemplo, um robô pequeno) pedir por uma bateria leve, não terá outro jeito.

- **Baterias recarregáveis**:
  - **Níquel-cádmio (NiCd) –** Baterias desse tipo geram uns 1,2 volts e são o mais popular tipo de bateria recarregável. Algumas baterias de NiCd ainda apresentam uma falha, conhecida como o *efeito memória*, requerendo que você descarregue completamente a bateria antes de recarregá-la, para garantir que ela alcance a sua capacidade máxima.
  - **Hidrato níquel-metálico (NiMH) –** Baterias desse tipo também geram 1,2 volt, mas não sofrem do efeito memória. Nós sugerimos que você use baterias NiMH, para seus projetos que precisarem de baterias recarregáveis.

Seja cuidadoso para não misturar tipos de bateria em um mesmo circuito, e *nunca* tente recarregar baterias não recarregáveis. Essas baterias podem romper e vazar ácido, ou até explodir. A maioria das baterias não-recarregáveis contêm avisos sobre os perigos de tais maus usos em seus próprios rótulos.

Comprar um carregador e um estoque de baterias recarregáveis pode economizar uma boa quantidade de dinheiro, ao longo do tempo. Só tenha certeza de que o carregador que você usa seja compatível com o tipo de bateria recarregável que selecionou.

Tenha certeza de jogar fora as baterias de forma apropriada. Baterias contendo metais pesados (como níquel, cádmio, chumbo e mercúrio) podem ser danosas para o ambiente, quando jogadas fora de forma inapropriada.

Classificando a vida da bateria comum

A classificaçãoão *ampere-hora* ou *miliam-perere-hora* para uma bateria, dá a você uma ideia de quanta corrente uma bateria pode conduzir, por um dado período de tempo. Por exemplo, uma bateria de 9 volts normalmente tem uma classificação de 500 miliamperes-hora. Tal bateria pode energizar um circuito, utilizando 25 miliamperes por aproximadamente 20 horas, antes que sua voltagem comece a cair. Observamos uma bateria que estávamos usando há alguns dias e verificamos que ela estava produzindo apenas 7 volts. Uma bateria AA que tenha uma classificação 1500 miliamperes-hora pode energizar um circuito de 25 miliamperes, por aproximadamente 60 horas.

Seis baterias AA em série, o que produz 9 volts, vão durar mais do que uma única bateria de 9 volts. Isto acontece porque as seis baterias AA contêm mais produtos químicos do que uma única bateria, e podem produzir mais corrente no tempo, antes de ficarem esgotadas. No Capítulo 2, nós discutimos como as baterias são feitas e por que eventualmente elas ficam sem energia.)Se você tiver um projeto que use muita corrente, ou planeja manter seu circuito funcionando o tempo todo, considere o uso de baterias maiores, tamanhos C ou D, que duram mais do que baterias menores; ou o uso de baterias recarregáveis.

Veja a seção "Listando baterias pelo conteúdo", previamente mostrada neste capítulo, para ver mais sobre os diferentes tipos de baterias e quanto tempo você pode esperar que elas durem.

Obtendo energia do sol

Se você estiver projetando um circuito para operar em ambiente externo – ou se quiser usar uma fonte de energia limpa e ambientalmente correta – você pode querer comprar um ou mais painéis solares. Um *painel solar* consiste em uma matriz de células solares (que são grandes diodos conhecidos como *fotodiodos*), que geram corrente quando expostos a uma fonte de luz, tal como o sol. Nós discutiremos diodos no Capítulo 6, e fotodiodos na seção "Usando seus sensores" mais à frente neste capítulo. Um painel medindo 5 x 5 polegadas pode ser capaz de gerar 100 miliamperes a 5 volts sob uma forte luz solar. Se você precisar de 10 miliamperes, vai certamente conseguir, mas poderá achar o tamanho do painel problemático, em um projeto portável ou pequeno.

Alguns painéis solares contêm fios de saída que você pode conectar no seu circuito, muito parecidos com os fios de um clip de bateria ou de um agrupador de baterias. Outros painéis solares não possuem fios, então você terá que soldar seus próprios fios, nos terminais.

Aqui estão alguns critérios a serem considerados para ajudar você a determinar se um painel solar é apropriado para o seu projeto:

- **Você planeja ter seu painel solar exposto ao sol quando quiser que seu circuito esteja ligado, ou usar o painel para carregar uma bateria que possa energizar seu projeto?** Se não optar pela primeira hipótese, procure por outra fonte de energia.
- **O painel solar vai conseguir se encaixar no aparelho que você está construindo?** Para responder a esta questão, você precisa saber quanta potência seu aparelho vai necessitar, e o tamanho do painel solar que vai poder fornecer a potência suficiente. Se o painel for muito grande para seu aparelho, redesenhe o aparelho, use menos potência ou procure outra fonte de energia.

Trabalhando com a energia da tomada (não recomendável)

A potência AC, fornecida pela sua companhia de energia, pode causar ferimentos ou morte se usada inapropriadamente, então nós não recomendamos energizar seus circuitos diretamente da sua tomada de energia. E já que a vasta maioria dos projetos de eletrônica como *hobby* funciona em baterias, você pode nunca ser tentado a usar AC, de qualquer jeito. Entretanto, alguns projetos necessitam mais corrente ou maior voltagem do que as baterias podem facilmente fornecer. Nesses casos, você pode usar um transformador de parede, como o mostrado na Figura 8-5, para converter AC em DC. Todas as partes do funcionamento estão contidas no transformador, de forma que você não esteja exposto às altas correntes AC.

Adquirindo um Transformador

Você pode comprar transformadores de parede novos ou usados (verifique o Capítulo 17 para ver algumas dicas sobre fornecedores.) E, claro, você pode ter alguns transformadores de parede em casa, de algum telefone sem fio descartado ou de outro aparelho eletrônico. Se tiver, certifique-se de verificar a informação sobre voltagem e corrente, normalmente impressa no transformador, para ver se ele é adequado ao seu próximo projeto. Se for, tenha certeza de verificar como o fio está conectado, para manter a polaridade apropriada (conexões positiva e negativa) ao conectar o transformador ao seu circuito.

Transformadores de parede fornecem correntes, desde miliamperes até alguns amperes em voltagens de 5 volts DC até 20 volts DC. Alguns fornecem, tanto uma voltagem DC positiva quanto uma voltagem DC negativa. Diferentes modelos usam diferentes tipos de conector para fornecer a energia. Se você comprar um transformador de parede, certifique-se de ler a folha de especificações cuidadosamente, para determinar como conectá-lo ao seu circuito.

Figura 8-5: Um transformador de parede protege você da exposição à corrente AC da casa.

Ligando e Desligando a Eletricidade

Se você pensa em um interruptor como um simples mecanismo de "liga/desliga", pense de novo. Há muitos tipos diferentes de interruptores que você pode usar em projetos de eletrônica e eles são categorizados pela maneira como são controlados, pelo tipo e número de conexões que fazem, e por quanta voltagem e corrente podem lidar.

Um *interruptor* é um dispositivo que faz ou interrompe uma ou mais conexões elétricas. Quando um interruptor está na *posição aberta*, a conexão elétrica é quebrada e você possui um circuito aberto, sem nenhuma corrente fluindo. Quando um interruptor está na *posição fechada*, uma conexão elétrica é feita e a corrente flui.

Controlando a ação de um interruptor

Você vai ouvir sobre os interruptores, sendo referidos por nomes que indicam como a ação de interrupção é controlada. Você pode ver alguns dos diferentes tipos de interruptores na Figura 8-6.

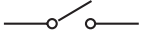
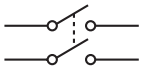
- **Slide:** Você desliza um botão para frente e para trás para abrir e fechar esse interruptor, onde você encontra em muitas lanternas.
- **Toggle:** Você vira a alavanca de um jeito e fecha o interruptor e do outro jeito abre o interruptor. Você pode ver rótulos nesses interruptores: "on" na posição fechada; "off" na posição aberta.
- **Rocker:** Você pressiona um lado do interruptor para baixo, para abrir o interruptor, e o outro lado para cima para fechar o interruptor. Você encontra esses interruptores em diversos fios de alimentação.
- **Leaf:** Você pressiona uma alavanca ou botão para temporariamente fechar esse tipo de interruptor, que é comumente encontrado em campainhas de portas.
- **Pushbutton:** Você pressiona um botão para mudar o estado do interruptor, mas como ele muda, irá depender do tipo de interruptor de botão que você tem:
  - **Push on/push off:** Cada pressão no botão reverte a posição do interruptor.
  - **Normalmente aberto (NO):** Esse interruptor momentâneo fica normalmente aberto (desligado), mas se você pressionar e segurar o botão, o interruptor fecha (liga). Ao soltar o botão, o interruptor abre novamente. Ele também é conhecido como *interruptor pressione-para-fazer*.
  - **Normalmente fechado (NC):** Esse interruptor momentâneo fica normalmente fechado (ligado), mas se você pressionar e segurar o botão, o interruptor abre (desliga). Ao soltar o botão, o interruptor fecha novamente. Ele também é conhecido como *interruptor pressione-para-desfazer*.

- **Rele:** Um rele é um interruptor eletricamente controlado. Se você aplicar uma determinada voltagem, um eletroímã dentro puxa a alavanca do interruptor (conhecida como armadura) para fechar. Você pode ouvir sobre fechar ou abrir os contatos de uma bobina de relé. É apenas o termo usado para descrever uma interrupção pelo relé.

Fazendo os contatos certos

Interruptores são categorizados por quantas conexões eles podem fazer, quando você "gira o botão" e exatamente como essas conexões são feitas. Um interruptor pode ter um ou mais *polos*, ou conjuntos de contatos de entrada: Um *interruptor de polo único* tem um contato de entrada, enquanto um *interruptor de polo duplo* tem dois polos de entrada. Um interruptor também pode ter uma ou mais posições condutoras, ou *throws*. Com um *interruptor de um throw*, você faz ou desfaz a conexão entre cada contato de entrada e seu contato de saída correspondente; um *interruptor de duplo throw* permite que você altere a conexão de cada contato de entrada, entre cada um dos seus dois contatos de saída designados.

Figura 8-6: De cima para baixo: dois interruptores toggle, um rocker e um leaf.

Soa confuso ? Para ajudar a clarear as coisas, dê uma olhada nos símbolos de circuito e descrições de algumas variedades comuns de interruptores:

- Polo único, **throw único (SPST):** Esse é seu interruptor de liga/desliga (on/off) básico, com um contato de entrada e um contato de saída. Você faz a conexão (posição "on") ou abre a conexão (posição "off").
- Polo único, **throw duplo (SPDT):** Esse interruptor de on/off contém um contato de entrada e dois contatos de saída. Ele está sempre ligado; apenas alterna a entrada entre duas opções de saída. Você usa um interruptor SPDT, ou um *changeover switch,* quando quer um circuito ligando um aparelho ou outro (por exemplo, uma luz verde, para fazer as pessoas entenderem que podem entrar numa sala, ou uma luz vermelha, para informá-las que devem ficar do lado de fora).

- Polo duplo, throw único **(DPST):** Esse interruptor on/off duplo contém dois contatos de entrada e dois contatos de saída, e se comporta como dois interruptores "faz-ou-abre" SPST operando em sincronia. Na posição "off", ambos interruptores estão abertos e nenhuma conexão está feita. Na posição "on", ambos interruptores estão fechados e conexões são feitas, entre cada contato de entrada e seu respectivo contato de saída.

- Polo duplo, throw duplo **(DPDT):** Esse interruptor on/off duplo contém dois contatos de entrada e quatro contatos de saída, e comporta-se como dois interruptores SPDT (changeover), operando em sincronia. Em uma posição, os dois contatos estão conectados a um conjunto de contatos de saída, e na outra, os dois contatos de entrada estão conectados ao outro conjunto de contatos de saída. Alguns interruptores DPDT possuem uma terceira posição que desconecta (ou rompe) todos os contatos. Você pode usar um interruptor DPDT como um *interruptor de reversão* para um motor, conectando o motor a uma voltagem positiva, para rodar numa direção, uma voltagem negativa, para rodar na outra direção e, se houver uma terceira posição do interruptor, conectar a uma voltagem zero, para parar o motor.

Usando Seus Sensores

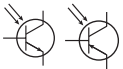
Quando quiser disparar a operação de um circuito em resposta a algum acontecimento físico (como uma mudança na temperatura), você usará componentes eletrônicos, conhecidos como *sensores*. Sensores tiram vantagem do fato de que várias formas de energia – incluindo luz, calor e movimento – podem ser convertidas em energia elétrica. Sensores são um tipo de *transdutor*, que é um equipamento eletrônico que converte energia de uma forma para outra. Nesta seção, descrevemos alguns dos mais comuns transdutores de entrada, ou sensores, utilizados em circuitos eletrônicos.

Vendo a luz

Muitos componentes eletrônicos comportam-se de maneira diferente, dependendo da luz à qual estejam expostos. Os fabricantes fazem certas versões de componentes para explorar esta sensibilidade à luz, encapsulando-os em invólucros claros, de forma que você possa usá-los como sensores em equipamentos, como sensores de arrombamento, de fumaça, acendimento automático de luzes ao anoitecer e dispositivos de segurança que impedem sua porta de garagem de descer, quando um carro estiver embaixo dela. Você pode também usá-los em comunicações entre seu controle remoto, que envia mensagens codificadas via luz infravermelho, usando um diodo emissor de luz (ou LED, que nós discutimos no Capítulo 6), entre seu aparelho de TV ou DVD, o qual contém um diodo ou transistor sensível à luz, para receber as instruções codificadas.

Exemplos de dispositivos sensíveis à luz usados como sensores:

- **Fotorresistores (ou fotocélulas)**: Eles são resistores dependentes da luz (LDRs, *light-dependent resistors*), feitos de material semicondutor. Exibem, tipicamente, uma alta resistência (em torno de 1 MΩ) no escuro e uma resistência baixa (em torno de 100 MΩ) em luz brilhante, mas você pode usar um multímetro (como descreveremos no Capítulo 12) para determinar a real resistência exibida por um fotorresistor específico. O fotorresistor típico é mais sensível à luz visível, especialmente no espectro verde-amarelo. O símbolo para um fotorresistor (o qual pode ser instalado com a corrente fluindo em qualquer direção, nos seus circuitos) é mostrado aqui:

- **Fotodiodos**: São o oposto dos diodos emissores de luz (LEDs) que discutimos no Capítulo 6. Conduzem corrente ou consomem voltagem apenas quando expostos à luz suficiente, usualmente no espectro infravermelho (não visível). Como diodos padrão, fotodiodos possuem dois terminais: o mais curto é o cátodo (saída negativa) e o mais longo é o ânodo (saída positiva).

- **Fototransistores**: A maioria deles é composta de simples transistores de junção bipolar (como nós discutimos no Capítulo 6), encapsulados em um invólucro claro, de forma que a luz polarize a junção base-emissor. Esses dispositivos usualmente contêm apenas dois terminais (enquanto transistores comuns possuem três). Isso é porque você não precisa acessar a base do transistor para polarizá-lo – a luz faz isso por você. Fototransistores amplificam diferenças na luz que incide sobre eles, mas externamente eles se parecem exatamente com fotodiodos, então você realmente tem que ficar atento à diferença entre eles.

Dê uma olhada no Capítulo 15 para alguns projetos que envolvem componentes fotossensíveis.

Capturando som com microfones

Microfones são transdutores de entrada, que convertem energia acústica (também conhecida como som) em energia elétrica. A maioria usa uma membrana fina, ou *diafragma*, que vibra em resposta às mudanças na pressão do ar, pelo som. As vibrações da membrana são traduzidas em sinais elétricos AC de várias formas, dependendo do tipo de microfone.

- Em um *microfone condensador*, a membrana vibratória faz o papel de uma placa de capacitor, de forma que as variações no som correspondam às variações na capacitância. Para mais sobre capacitores, veja o Capítulo 4.
- Em um *microfone dinâmico*, o diafragma é preso a uma bobina de indução, dentro de um ímã permanente. Na medida em que o som move o diafragma, a bobina move-se dentro do campo magnético produzido pelo ímã, e a corrente é induzida na bobina. O Capítulo 5 tem uma base sobre esse fenômeno, que é conhecido por *indução eletromagnética.*
- Em um *microfone de cristal*, é utilizado um *cristal piezoelétrico* especial, para converter som em energia elétrica, tirando vantagem do *efeito piezoelétrico*, no qual certas substâncias produzem uma voltagem quando é aplicada uma pressão sobre elas.
- Em um *microfone de fibra óptica*, uma fonte de *laser* direciona um feixe de luz em direção à superfície de um pequeno diafragma refletor. À medida em que o diafragma move, mudanças na luz refletida pelo diafragma são captadas pelo detector, que transforma as diferenças na luz em um sinal elétrico.

Sentindo o calor

Um *termistor* é um resistor cujo valor de resistência varia, de acordo com mudanças na temperatura. O símbolo de circuito para um termistor é mostrado aqui. Termistores possuem dois terminais e nenhuma polaridade, então você não precisa se preocupar sobre qual a maneira de inserir o termistor no seu circuito.

Há dois tipos de termistores:

- **Termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC)**: A resistência de um termistor NTC decresce com um aumento na temperatura. Este é o tipo mais comum de resistor.
- **Termistor de coeficiente de temperatura positivo (PTC)**: A resistência de um termistor PTC aumenta com a elevação da temperatura.

Utilizando um sensor de luz para detectar movimento

Você já caminhou até a entrada escura de uma casa e de repente as luzes de fora se acenderam? Ou viu uma porta de garagem parar de descer quando uma criança ou algum objeto sobre rodas passou por baixo dela? Se a resposta for sim, você viu detectores de movimento em funcionamento. Dispositivos detectores de movimento comumente usam sensores de luz, para detectar a *presença* de luz infravermelha emitida de um objeto quente (como uma pessoa ou um animal) ou a *ausência* de luz infravermelha quando um objeto interrompe o feixe emitido por outra parte do dispositivo.

Muitas casas, escolas e armazéns usam detectores de movimento *infravermelho passivos (PIR* — de *passive infrared)* para ligar luzes ou detectar intrusos. Detectores de movimento PIR contêm um sensor (que consiste de dois cristais, usualmente), uma lente e um pequeno circuito eletrônico. Quando a luz infravermelha atinge o cristal, ele gera uma carga elétrica. Como corpos quentes (como o da maioria dos humanos) emitem luz infravermelha em diferentes comprimentos de onda do que objetos mais frios (como uma parede), diferenças na entrada de um sensor PIR podem ser utilizadas para determinar se um corpo quente em movimento está por perto, ou não. Usar dois cristais no sensor PIR possibilita que este diferencie eventos que afetem ambos os cristais, igualmente e simultaneamente – como mudanças na temperatura de uma sala – e eventos que afetam os cristais de formas diferentes – como um corpo quente movendo-se perto de um cristal e depois de um outro.

Detectores PIR industriais usam ou controlam circuitos de 120 volts e são projetados para serem montados em uma parede ou no topo de uma *holofote*. Para projetos de *hobby* usando uma bateria, você precisa de um detector de movimento compacto, que funcione com uns 5 volts. Um típico detector de movimento compacto tem três terminais: terra, voltagem positiva e a saída do detector. Se você fornece 5 volts para o detector, a voltagem no terminal de saída lê 0 (zero) volts quando nenhum movimento for detectado ou uns 5 volts quando um movimento for detectado. Você pode encontrar detectores de movimento compactos em vendedores online de sistemas de segurança, mas certifique-se de comprar um *detector de movimento*, em vez de um *sensor PIR*. As lentes incluídas num detector de movimento ajudam o dispositivo a detectar o movimento de um objeto, em vez de apenas a *presença* de um objeto.

Catálogos de fornecedores normalmente listam a resistência dos termistores medida em 25 graus Celsius (77°F). Meça você mesmo a resistência do termistor com um multímetro em algumas temperaturas (veja o Capítulo 12 para saber mais sobre multímetros). Essas medidas permitem que você calibre o termistor, ou consiga a exata relação entre temperatura e resistência. Se não estiver seguro sobre o tipo de termistor, você pode descobrir isso vendo se o valor da resistência aumenta ou diminui com um aumento na temperatura.

Se você estiver planejando usar o termistor para disparar uma ação em uma temperatura em particular, certifique-se de medir a resistência do termistor *na temperatura desejada*.

Mais transdutores de entrada energéticos

Muitos outros tipos de transdutores de entrada são usados em circuitos eletrônicos. Aqui estão três exemplos comuns:

- **Antenas**: Uma antena percebe ondas eletromagnéticas, e transforma a energia em sinais elétricos. Ela também funciona como um *transdutor de saída*, convertendo sinais elétricos em ondas de luz.
- **Sensores de pressão ou posição**: Esses sensores tiram vantagens das propriedades de resistência variável de certos materiais, quando eles passam por uma deformação. Cristais piezoelétricos são um desses materias.
- **Cabeças de fitas magnéticas**: Esses dispositivos leem flutuações de campo magnético em fitas de áudio ou videocassete (assim como os disquetes de computador usados pelos antigos) e os convertem em sinais elétricos.

Transdutores são frequentemente categorizados por tipo de conversão de energia que eles realizam, por exemplo, transdutores eletroacústicos, eletromagnéticos, fotoelétricos e eletromecânicos. Esses incríveis dispositivos abrem tremendas oportunidades para que circuitos eletrônicos realizem incontáveis tarefas úteis.

Outras maneiras de ver sua temperatura

Na seção "Sentindo o calor", este capítulo discute os sensores de temperatura chamados termistores – mas há muitos outros tipos de sensores de temperatura. Aqui está um resumo de suas características:

Fita bimetálica: O termostato na sua casa provavelmente usa uma fita de metal enrolada, que encolhe quando a temperatura esfria, para ligar um interruptor e ligar o aquecedor.

Sensor de temperatura semicondutor: O tipo mais comum de sensor de temperatura, no qual a voltagem de saída depende da temperatura. Contém dois transistores veja mais sobre isso no Capítulo 6.

Termopar: Um termopar contém dois fios feitos de diferentes metais (por exemplo, um fio de cobre e um fio de um composto de níquel/cobre), que são soldados ou fundidos juntos em um ponto. Estes sensores geram uma voltagem que muda com a temperatura. Os metais usados determinam como a voltagem muda com a temperatura. Termopares podem medir altas temperaturas – centenas de graus ou até mais de 1000 °C.

Sensor de temperatura infravermelho: Este sensor mede a luz infravermelha fornecida por um objeto. Você o usará quando seu sensor tiver que ser colocado a uma certa distância do objeto que você planeja medir; por exemplo, você usará este sensor se um gás corrosivo circundar o objeto. Plantas industriais e laboratórios científicos normalmente usam termopares e sensores de temperatura infravermelhos.

Experimentando o Resultado da Eletrônica

Sensores, ou *transdutores de entrada*, pegam uma forma de energia e convertem em energia elétrica, que é inserida em um circuito eletrônico. *Transdutores de saída* fazem o oposto: eles pegam o sinal eletrônico na saída do circuito e o convertem em outra forma de energia – por exemplo, som, luz ou movimento (que é energia mecânica).

Você pode não perceber, mas provavelmente esteja muito familiarizado com dispositivos, que são, na verdade, transdutores de saída. Lâmpadas, LEDs, motores, alto-falantes, tubos de raios catódicos (CRTs) e outros displays visuais eletrônicos, todos convertem energia elétrica em algum outro tipo de forma de energia. Sem esses bichinhos, você poderia criar, formatar e enviar sinais elétricos por aí, através de fios e componentes o dia todo, e nunca desfrutar das ricas recompensas da eletrônica. É apenas quando você transforma a energia elétrica em uma forma de energia que possa experimentar (e usar) pessoalmente que você começa, realmente, a aproveitar os frutos do seu trabalho.

Falando de alto-falantes

Alto-falantes (*speakers*) convertem sinais elétricos em energia sonora; o símbolo de circuito para um alto-falante é mostrado aqui. A maioria dos alto-falantes consiste simplesmente de um ímã permanente, um eletroímã (que é um ímã temporário e eletricamente controlado), e um cone vibratório. A Figura 8-7 mostra como os componentes de um alto-falante são distribuídos.

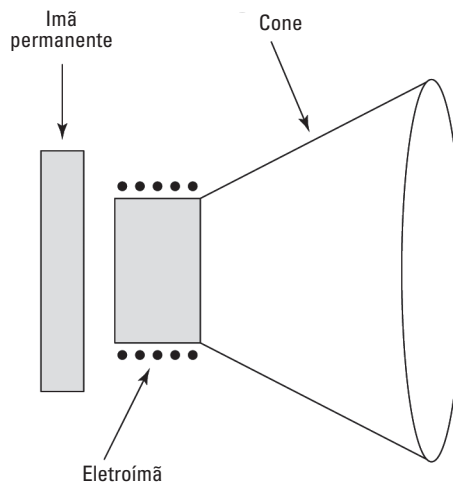



Figura 8-7: As partes do seu típico alto--falante: dois imãs e um cone.

O eletroímã, que consiste de uma bobina enrolada em torno de um núcleo de ferro, é fixado ao cone. Na medida em que a corrente alterna-se, indo e vindo pela bobina, o eletroímã é puxado na direção e depois empurrado para longe do ímã permanente O Capítulo 5 fala mais sobre os altos e baixos de eletroímãs. O movimento do eletroímã faz o cone vibrar, o que cria as ondas sonoras.

A maioria dos alto-falantes vem com dois terminais, que podem ser usados intercambiavelmente. Para projetos mais sérios, como alto-falantes em sistemas de estéreo, você deve prestar atenção nas marcas de polaridade nos alto-falantes por causa da maneira em que eles são usados em circuitos eletrônicos, dentro de um sistema estéreo.

Os alto-falantes são classificados, de acordo com os seguintes critérios:

- **Espectro de Frequência**: Alto-falantes podem gerar sons em diferentes espectros de frequência, dependendo de seus tamanhos e *designs*, dentro do espectro de frequências audíveis (de uns 20 Hz [hertz] até 20 kHz [kilohertz]). Por exemplo, um alto-falante em um sistema estéreo pode gerar sons em baixas frequências (baixas frequências audíveis) enquanto outro gera som em altas frequências. Você só precisa prestar muita atenção na frequência do alto-falante, se estiver construindo um sistema de áudio de qualidade.
- **Impedância**: Impedância é a medida da resistência do alto-falante à corrente AC (como discutimos no Capítulo 5). Você pode facilmente encontrar alto-falantes de 4 Ω, 8 Ω, 16 Ω e 32 Ω. É importante selecionar um que combine com a mínima impedância do amplificador que você estiver usando, para direcioná-lo. Você pode saber mais sobre essa classificação na folha de dados para o amplificador, no *website* de seu fornecedor. Se a impedância do alto-falante for muito alta, você não vai conseguir tanto volume do quanto poderia, e se a impedância for muito baixa, você pode superaquecer seu amplificador.
- **Taxa de Potência**: A taxa de potência diz quanta potência (potência = corrente x voltagem) o alto-falante pode aguentar, sem ser danificado. Taxas de potência típicas são 0,25 watt, 0,5 watt, 1 watt e 2 watts. Tenha certeza de que verificou a máxima saída de potência do amplificador, guiando seu alto-falante (veja a folha de dados), e escolha um que tenha uma taxa de potência de pelo menos este valor.

Para projetos *hobby* de eletrônica de, alto-falantes em miniatura (de uns 5 cm ou 7,5 cm de diâmetro) com uma impedância de entrada de 8 Ω são, frequentemente, o que você precisa. Apenas tenha o cuidado de não sobrecarregar esses pequenos fazedores de barulho, que normalmente aguentam apenas de ¼ até ½ watt.

Ressoando com campainhas

Assim como os alto-falantes, as campainhas geram som – mas ao contrário daqueles, campainhas produzem indiscriminadamente o mesmo som incômodo, não importa qual voltagem você aplique (dentro do razoável). Com alto-falantes , "Mozart na Entrada" cria "Mozart na Saída"; com campainhas, "Mozart na Entrada" cria apenas barulho.

Um tipo de campainha, uma campainha *piezoelétrica*, contém um diafragma anexado a um cristal piezoelétrico. O símbolo do circuito para uma campainha piezoelétrica é mostrado aqui. Quando a voltagem é aplicada ao cristal, este se expande ou se contrai (isto é conhecido como efeito piezoelétrico); isso, por sua vez, faz o diafragma vibrar, gerando ondas sonoras. Note que isso é bem o oposto da maneira que um microfone de cristal funciona, como descrito anteriormente neste capítulo.

Campainhas possuem dois terminais e vêm em uma variedade de embalagens. A Figura 8-8 mostra um par de campainhas típicas. Para conectar os terminais da maneira correta, lembre-se de que o terminal vermelho conecta-se à voltagem DC positiva.

Ao comprar uma campainha, você deve considerar três especificações:

- **A frequência do som que ela emite**: A maioria das campainhas soa em uma frequência em algum lugar na faixa de 2 kHz a 4 kHz.
- **A voltagem de operação e a faixa de voltagens**: Tenha certeza de pegar uma campainha que funcione com a voltagem DC, que o seu projeto fornece.
- **O nível de som que ela produz em unidades de decibéis (dB)**: Quanto maior o nível de decibéis, mais alto (e mais irritante) o som emitido. Maiores voltagens DC geram maiores níveis sonoros.

Seja cuidadoso para que o som não fique alto demais, a ponto de danificar sua audição. Você pode sofrer perda permanente de audição se exposto a sons de 90 dB ou mais, por um intervalo longo – mas você não vai sentir dor até o som alcançar pelo menos 125 dB.

Figura 8-8: Essas pequenas e barulhentas campainhas são muito simples de operar.

Criando boas vibrações com motores DC

Você já se perguntou o que faz um *pager* vibrar? Não, não são feijões saltadores mexicanos. Esses dispositivos normalmente usam um *motor DC*. Motores DC transformam energia elétrica (como a energia armazenada numa bateria) em movimento. Este movimento pode girar as rodas de um robô que você construiu, ou fazer vibrar seu *pager*. Na verdade você pode usar um motor DC em qualquer projeto que precise de movimento.

Eletroímãs são uma importante parte dos motores DC, porque estes motores constituem-se, essencialmente, de um eletroímã em um eixo, girando entre dois ímãs permanentes, como você pode ver na Figura 8-9.

Os terminais positivo e negativo da bateria conectam-se de forma que, cada ponta do eletroímã tenha a mesma polaridade que o ímã permanente perto dele. Como polos de ímãs repelem-se, essa ação de repelir move o eletroímã e faz o eixo girar. Ao girar o eixo, as conexões positiva e negativa do eletroímã trocam de lugar, de forma que o ímã continua a empurrar o eixo. Um simples mecanismo – consistindo de um *comutador* (uma roda segmentada com cada segmento, conectado a um terminal diferente do eletroímã) e escovas que tocam o comutador – faz as conexões mudarem. O comutador gira o eixo e as escovas ficam estacionárias, com uma escova ligada ao terminal positivo da bateria e a outra escova ao terminal negativo da bateria. Na medida em que o eixo – e com isso o comutador – gira, o segmento em contato com cada escova muda. Isto, por sua vez, muda a ponta do eletroímã que está conectada às voltagens positiva e negativa.

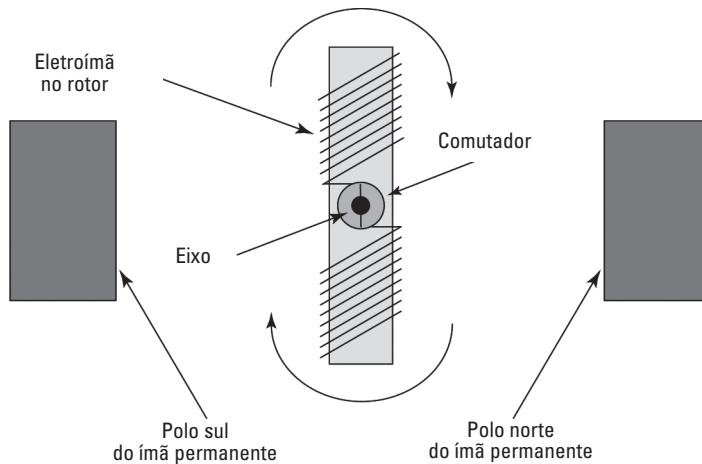



Figura 8-9: Como as partes de um simples motor DC se encaixam.

Se quiser ter uma ideia do mecanismo dentro de um motor DC, compre um mais barato, por alguns reais e desmonte-o.

O eixo em um motor DC gira umas milhares de vezes por minuto – um pouco rápido para a maioria das aplicações. Fornecedores vendem motores DC com uma coisa chamada *gear head* pré-montada; este dispositivo reduz a velocidade de saída para menos de uma centena de rotações por minuto (rpm). Isso é similar à maneira com que as marchas no seu carro mudam a sua velocidade.

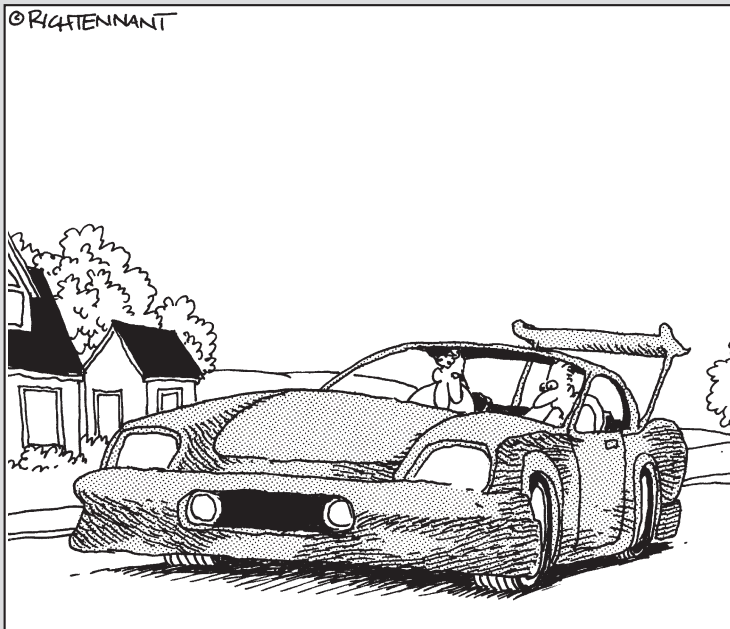
Normalmente catálogos de fornecedores normalmente listam diversas especificações para os motores que eles mostram. Quando for comprar motores elétricos, considere estas duas características básicas:

- **Velocidade**: A velocidade (em rpm) que você precisa depende do seu projeto. Por exemplo, ao girar as rodas de um carrinho de modelo, você pode querer umas 60 rpm, com o motor girando as rodas uma vez por segundo.
- **Voltagem de operação**: A voltagem de operação é dada como uma faixa. Projetos de eletrônica como *hobby*, normalmente usam um motor que funciona na faixa de 4,5 V a 12 V. Também note a voltagem nominal, a rpm declarada pelo fabricante para o motor. O motor gira nesta rpm quando você o alimenta com a voltagem nominal. Se você o alimentar com menos do que a voltagem nominal, o motor girará mais lento do que a rpm declarada. Se você fornecer mais, ele pode rodar mais rápido, mas ele provavelmente irá queimar.

Motores DC possuem dois fios (ou terminais, nos quais você solda fios), um para a voltagem negativa e outro para a positiva. Você liga o motor, simplesmente fornecendo a voltagem DC, que gera a velocidade que você quiser e desliga, quando você quiser que o motor pare.

Você pode usar um método mais eficiente para controlar a velocidade do motor, chamado *modulação por largura de pulso* (*pulse-width modulation*). Este método liga e desliga a voltagem através de pulsos rápidos. Quanto mais longo for o intervalo em “on”, mais rápido o motor gira. Se você estiver construindo um *kit* para algo controlado por motores (como um robô), este tipo de controle de velocidade deve ser incluído com a eletrônica do *kit*.

Se estiver colocando coisas, como rodas, hélices etc. ao motor, certifique-se de que anexou o componente de *forma segura*, antes de fornecer energia ao motor. Senão, o item pode sair voando e atingi-lo bem no rosto, ou alguém por perto que seja querido para você.

Parte II
Sujando as Mãos

"Eu peguei medidores da minha esteira elétrica. Quer saber quantas calorias nós queimamos no último meio quilômetro?"

Nesta parte...

Pronto para algo mais sério, como construir um circuito eletrônico ou dois (ou mais)? Esta parte dá a você o básico sobre como preparar seu laboratório de eletrônica, estocar ferramentas e suprimentos e manter-se seguro. Ela passa, também, pelos "como fazer" essenciais, que você precisa saber, de forma a poder construir – e depurar – seus circuitos.

Você descobrirá onde posicionar (ou não) sua bancada de eletrônica, quais ferramentas novas você deve ter e quais componentes eletrônicos comprar, para poder começar. Explicaremos a linguagem dos esquemas – diagramas de circuitos – e como transferir um desenho de um circuito do papel para a realidade de componentes, circulando correntes. Nós mostraremos como usar uma *protoboard* para construir circuitos para prototipagem (teste) e como soldar componentes, para construir circuitos permanentes. Você também conhecerá seu novo melhor amigo – o talentoso multímetro – que lhe possibilitará ver dentro dos seus circuitos e perceber problemas. Explicaremos, também, o básico de dois dispositivos de teste úteis, mas opcionais: a ponta lógica e o osciloscópio.

Capítulo 9

Montando o Laboratório e Garantindo a Segurança

Neste Capítulo:

- Projetando um espaço de trabalho que funcione para você
- Estocando ferramentas e outros suprimentos
- Criando um *kit* inicial de componentes eletrônicos
- Entendendo que a Lei de Ohm também se aplica ao corpo humano
- Evitando a eletrocussão
- Prevenindo para que seus componentes não virem montinhos de carvão

Descobrir sobre os incríveis resistores, capacitores e outros componentes eletrônicos é ótimo; mas se tudo o que você faz é desenhar circuitos eletrônicos e sonhar sobre como seu lindo circuito irá manipular o fluxo de elétrons, você nunca fará nada soar, bipar ou mover. Você precisa começar a mexer com componentes reais, colocar um pouco de energia, e ver seus circuitos reagirem. Mas, antes de sair correndo para a loja de eletrônicos mais perto, tire um tempo para se preparar para este estágio de construção de circuitos da sua vida.

Neste capítulo, daremos a você as linhas gerais para montar um pequeno laboratório de eletrônica, na sua própria casa. Nós mostraremos as ferramentas e suprimentos que irá precisar para o trabalho de construir circuitos, e daremos uma lista de compras de componentes eletrônicos, para que você possa construir um monte de diferentes projetos.

Já que construir circuitos não é para os fracos de coração (porque mesmo pequenas correntes podem afetar seu coração), mostraremos a você a informação sobre segurança que precisa saber, para fazer da eletrônica um *hobby* saudável. Um aviso: Não é necessária muita corrente elétrica para que você se machuque seriamente, ou morra. Até os profissionais mais experientes tomam as precauções apropriadas para manterem-se seguros. Nós sugerimos fortemente (insistimos, até) que você leia atentamente a informação sobre segurança fornecida (nos esforçamos muito para pô-la aqui), e antes de começar cada projeto, reveja a lista de elementos de segurança no fim deste capítulo.

Promete?

Escolhendo um Lugar para Praticar Eletrônica

Onde você coloca seu laboratório é tão importante quanto os projetos que faz e as ferramentas que usa. Assim como em imóveis, as palavras que guiam trabalhos em eletrônica são: posição, posição e posição. Ao usar o local certo na sua casa ou apartamento, você estará mais organizado e aproveitará melhor seus experimentos. Não há nada pior do que trabalhar numa bancada desorganizada sob pouca luz, enquanto respira um ar empoeirado.

Os ingredientes principais para um grande laboratório

Os principais ingredientes para um laboratório de eletrônica bem preparado, são os seguintes:

- Um lugar confortável para trabalhar, com mesa e cadeira;
- Boa iluminação;
- Amplo fornecimento de energia, pelo menos uns 15 amperes;
- Ferramentas e caixas de ferramentas, em estantes ou prateleiras próximas;
- Um clima seco e confortável;
- Uma sólida e plana superfície de trabalho;
- Paz e tranquilidade.

O ambiente de trabalho ideal não deve ser mexido, se tiver que se ausentar por horas ou dias. Também, a mesa de trabalho tem que ficar fora do alcance de crianças. Juntar crianças curiosas e eletrônicos, não dá certo.

A garagem é o lugar ideal porque lhe dá a liberdade de trabalhar com solda e outros materiais, sem se preocupar em danificar tapetes ou móveis próximos. Você não precisa de muito espaço; 1m por 1,2 m deve servir. Se não puder separar este espaço na garagem (ou não tiver uma garagem), você pode usar uma sala na casa, mas tente separar um canto ou seção da sala para seu trabalho de eletrônica. Ao trabalhar em uma área acarpetada, poderá evitar eletricidade estática espalhando uma cobertura protetora (por exemplo, um tapete antiestático), sobre o chão. Discutiremos isso, com mais detalhes, mais à frente, neste capítulo.

Se a sua área de trabalho tiver que ficar exposta aos outros membros da família, arranje um jeito de fazer com que a área fique proibida para outros, com menos conhecimento sobre segurança em eletrônica (o que falaremos mais à frente neste capítulo), especialmente crianças pequenas. Mantenha seus projetos, ferramentas e materiais fora do alcance, em locais com portas trancáveis. E certifique-se de manter circuitos integrados e outras partes afiadas fora do chão – dói muito quando se pisa neles!

Não importa onde você vá preparar seu laboratório, considere o clima. Calor, frio e umidade extremos podem ter profundos efeitos nos seus circuitos eletrônicos. Se achar a área de trabalho fria, quente ou úmida, tome medidas para controlar o clima nessa área, ou então não a use para trabalhos de eletrônica. Você pode ter que adicionar isolamento, um ar condicionado ou um desumidificador para controlar a temperatura e umidade na sua área de trabalho. Posicione sua bancada longe de portas e janelas que possam deixar passar umidade e temperaturas extremas. E por razões de segurança, nunca – repita, *nunca* – trabalhe em uma área onde o piso esteja molhado, ou mesmo levemente úmido.

O básico sobre bancadas de trabalho

Os tipos de projeto que você faz determinam o tamanho da bancada de trabalho que você precisa, mas para a maioria das aplicações, uma mesa ou outra superfície plana de uns 0,6m por 1m vai servir. Você pode até ter uma pequena escrivaninha, ou mesa de desenho que possa ser utilizada como sua bancada de eletrônica.

Você pode fazer sua própria bancada de eletrônica muito facilmente, utilizando uma porta velha, ou um tampo de mesa. Se você não tiver uma porta velha em mãos, compre uma, na loja de material de construção mais próxima. Construa pernas usando madeira de uns 76 cm de comprimento por uns 5 cm por 10 cm e fixe, utilizando *ganchos de junção (joist hangers)*. Como uma alternativa, você pode usar um compensado de madeira de ¾ de polegada ou aglomerado de madeira para fazer sua superfície de trabalho.

Se preferir, esqueça as pernas de 5 cm por 10 cm e faça uma simples bancada de trabalho usando uma porta e dois cavaletes. Dessa maneira você pode desmontar sua bancada e guardá-la num canto quando não estiver usando. Utilize *bungee cords (cordas elásticas)* para segurar a porta nos cavaletes, para evitar que acidentalmente o tampo da bancada saia dos cavaletes.

Lembre-se, ao trabalhar nos projetos, você se debruça sobre a bancada por horas a fio. Você pode fazer ou comprar uma bancada de trabalho, mas se não possuir uma boa cadeira, ponha uma no topo da sua lista de compras. Certifique-se de ajustar a altura da cadeira à altura da bancada. Uma cadeira mal ajustada pode causar dores nas costas e fadiga.

Adquirindo Ferramentas e Suprimentos

Cada *hobby* tem seu sortimento especial de ferramentas e suprimentos, e em eletrônica não há uma exceção. Da simples chave de fenda até a melhor furadeira, você aproveitará melhor o trabalho com eletrônica se tiver as ferramentas adequadas e um estoque de suprimentos organizados e armazenados de forma que você possa pegá-los, quando precisar, sem ter que desarrumar sua área de trabalho.

Esta seção diz, exatamente, que ferramentas e suprimentos você precisa para fazer projetos de eletrônica, indo dos básicos aos intermediários.

Se você tiver um lugar permanente na sua casa para trabalhar em eletrônica, pode dependurar na parede algumas das ferramentas manuais, mencionadas nesta seção. Reserve um tratamento especial para as ferramentas que você utilizar mais. Você pode armazenar outras ferramentas pequenas e alguns suprimentos em uma pequena caixa, que possa manter na bancada de trabalho. Uma caixa para iscas de pesca com diversos compartimentos pequenos e uma larga seção podem ajudá-lo a manter as coisas organizadas.

Estocando material de solda

Soldagem é o método que você usa para fazer conexões semipermanentes entre componentes, ao construir um circuito. Em vez de usar cola para juntar as coisas, você utiliza pequenos pontos de metal fundido, chamados *solda,* aplicados por um dispositivo chamado *ferro de soldar*. O metal providencia uma junção conectiva física, conhecida como *ponto de solda*, entre os fios e os terminais dos componentes, no seu circuito.

Você ficará satisfeito em saber que precisa apenas de algumas ferramentas simples para soldar. Você pode comprar um conjunto para soldagem básico por pouco dinheiro, mas ferramentas de soldagem melhores custam um pouco mais.

No mínimo, você precisará dos seguintes itens básicos para soldar:

- **Ferro de soldar**: Um *ferro de soldar*, também conhecido como *ponta de solda*, uma ferramenta com aparência de varinha que consiste em um cabo isolante, um elemento aquecedor e uma ponta de metal polida. (Veja a Figura 9-1 a seguir) Escolha um ferro de soldar com uma potência de 25-30 watts, que possua uma ponta trocável e tenha um plugue de três pontas, de forma que ele fique aterrado. Alguns modelos permitem que você use diferentes tamanhos de pontas para diferentes projetos, e alguns incluem controles variáveis que permitem mudar a wattagem. Ambos são interessantes, mas não necessariamente indispensáveis.
- **Apoio de solda**: O apoio segura o ferro de soldar e evita que a ponta (extremamente quente) entre em contato com os demais objetos na sua superfície de trabalho. Alguns ferros de solda já vêm com apoio. Normalmente essas combinações são conhecidas como *estações de soldagem*. O apoio deve ter uma base pesada; se não tiver, fixe-o na sua bancada de trabalho, para que ele não vire. Um apoio é essencial – a menos que você queira queimar seu projeto, sua bancada ou você mesmo.
- **Solda**: A *solda* é um metal macio, aquecido por um ferro de soldar, que, se deixado para esfriar, forma uma junta conectiva. A solda padrão utilizada para eletrônica é a *60/40 rosin core*, que contém aproximadamente 60% de latão e 40% de chumbo e tem um núcleo

de rosin flux. Evite solda formulada para encanamentos, que corroem partes eletrônicas e placas de circuito. O *flux* parecido com cera ajuda a limpar os metais que você estiver soldando e ele melhora a habilidade da solda de fluir e aderir aos componentes e fios, garantindo uma boa junção de solda. A solda é vendida em rolos, e recomendamos diâmetros de 79 cm (gauge 22) ou 157 cm (gauge 16) para projetos de eletrônica de *hobby*.

O conteúdo de chumbo em uma solda 60/40 *rosin core (com núcleo de resina)* pode ser prejudicial à saúde, se você não manipulá-lo corretamente. Tenha certeza de manter sua mão longe da boca e dos olhos, sempre que estiver tocando na solda. E, acima de tudo, não use os dentes para segurar um pedaço de solda enquanto suas mãos estiverem ocupadas.

Recomendamos que tenha essas ferramentas e acessórios de solda adicionais:

- **Esponja umedecida**: Você utiliza isso para limpar o excesso de solda e flux da ponta quente do ferro de soldar. Alguns apoios de solda incluem uma pequena esponja e um espaço para guardá-la, mas uma esponja doméstica limpa também funciona.
- **Ferramentas de remoção de solda**: Um *solder sucker* (aspirador de solda), também conhecido como *desoldering pump* (bomba dessoldadora), é um aspirador movido a mola, que você pode usar para remover a junta de solda ou o excesso de solda do seu circuito. Para utilizar isso, derreta a solda que quiser remover, posicione rapidamente o aspirador de solda por cima da bolha derretida e ative-o para que ele "sugue" a solda. Outra maneira é utilizar uma *malha dessoldadora* (conhecida em inglês como *solder wick*, *solder braid*, *desoldering wick* ou *desoldering braid*), que é um fio de cobre trançado plano, que você posiciona sobre a solda indesejada aplicando calor. Quando a solda alcançar o ponto de fusão, irá aderir ao fio de cobre, que você então remove e joga fora.
- **Pasta para limpeza de ponta**: Isto dá à sua ponta de solda uma boa limpeza.
- **Removedor de rosin flux**: Disponível em garrafa ou *spray*; use isso após soldar, para limpar qualquer flux restante e evitar que isso oxide (ou enferruje, em termos não científicos) seu circuito, o que pode enfraquecer a junta de metal.
- **Pontas de solda extras**: Para a maioria dos trabalhos em eletrônica, uma ponta pequena (de raio entre $^3/_{64}$ até $^7/_{64}$ de polegada) cônica ou em cunha, ou simplesmente, uma descrita como ponta fina, funciona bem, mas você também pode encontrar pontas maiores ou menores, utilizadas para diferentes tipos de projetos. Tenha certeza de comprar a ponta correta para o seu tipo e modelo de ferro de soldar. Troque a ponta quando ela mostrar sinais de corrosão, arranhões ou se a camada de metal estiver descascando; uma ponta surrada não passa muito calor.

No Capítulo 11, explicaremos em detalhes como utilizar um ferro de soldar.

Figura 9-1: Alguns modelos de ferros de soldar possuem temperatura ajustável e vêm com seus próprios apoios.

Usando um multímetro

Outra ferramenta essencial é o *multímetro*, que você usa para medir voltagens, resistências e correntes AC e DC quando quer explorar o que está acontecendo no circuito. A maioria dos multímetros que você encontra atualmente é do tipo digital (veja a Figura 9-2), o que significa que eles usam mostradores numéricos, assim como os relógios digitais. Você pode usá-los para explorar, tanto circuitos analógicos quanto digitais. Um multímetro analógico antigo usa um ponteiro para indicar um conjunto de escalas graduadas.

Cada multímetro vem com um par de pontas de teste: uma preta (para a conexão terra) e uma vermelha (para conexão positiva). Em unidades pequenas para bolso, as pontas de teste ficam permanentemente fixadas nos multímetros, enquanto em modelos maiores, você pode desconectar as pontas. Cada ponta de teste possui uma ponta de metal em formato cônico, usada para medir os circuitos. Você também pode comprar clipes de teste que deslizem as pontas, fazendo com que testar fique mais fácil. Você pode fixar esses clipes em fios ou nos terminais dos componentes.

Os preços de novos multímetros variam bastante. Multímetros mais caros incluem características adicionais, como capacidade de testar capacitores, diodos e transistores. Pense em um multímetro como um conjunto de olhos no seu circuito, e considere comprar o melhor modelo que você puder. Dessa maneira, à medida em que seus projetos vão ficando mais complexos, você ainda terá uma ótima vista do que está acontecendo por dentro deles.

Figura 9-2: Multímetros medem voltagem, resistência e corrente.

Se você *realmente* quiser um multímetro analógico, pode ser que consiga um *top* de linha Simpson, Modelo 260 no eBay por uma fração do (alto) preço de um novo. O Simpson Modelo 260 é um dos mais populares multímetros já construídos. Ele pode parecer uma relíquia pelos padrões de hoje, mas se não tiver sido abusado por ninguém, deverá conseguir fazer as tarefas básicas que você precisa.

Daremos o básico sobre como usar o multímetro no Capítulo 12.

Juntando ferramentas de mão

Ferramentas de mão são o básico de uma caixa de ferramentas. Essas ferramentas apertam parafusos, cortam fios, dobram pequenos pedaços de metal e fazem todas essas outras coisas corriqueiras. Certifique-se de que você tenha as seguintes ferramentas disponíveis na sua bancada de trabalho:

- **Alicate para cortar fios**: Você pode encontrar alicates para cortar fios genéricos em lojas de *hardware* e materiais de construção, mas vale a pena investir um pouquinho mais em um alicate como o mostrado na Figura 9-3 a seguir, para fazer cortes em espaços apertados, como logo acima de uma junção de solda.

- **Descascador de fios**: Você frequentemente precisa expor algum pedaço de fio puro para poder soldar uma conexão ou inseri-lo nos buracos da *protoboard* (sobre a qual discutiremos na próxima seção deste capítulo). Um bom descascador de fios contém ajustes que permitem descascar, fácil e precisamente, apenas o isolamento de fios de vários tamanhos (conhecidos como gauges, como descrevemos no Capítulo 8), sem atingir o fio de cobre por dentro. Você também pode encontrar uma combinação de descascador com cortador de fios, mas precisará fazer o controle do ajuste.
- **Alicates de bico fino (dois pares)**: Esses alicates ajudam você a dobrar fios, inserir terminais nos buracos da protoboard, e segurar partes no lugar. Pegue dois pares: um minipar (12,7 cm de comprimento) para um trabalho intrincado e um par de tamanho normal para quando você precisar aplicar um pouquinho mais de pressão.
- **Chaves de fenda de precisão**: Certifique-se de ter tanto uma chave de fenda normal, quanto *uma chave phillips* (com a ponta em forma de cruz) pequenas o suficiente para suas necessidades de eletrônica. Use o tamanho certo para o trabalho, evitando assim a ponta da chave. Uma chave de fenda magnetizada pode fazer com que o trabalho com parafusos pequenos seja mais fácil, ou coloque um pouquinho de massa plástica na cabeça do parafuso antes de inserir a ponta da chave. Funciona direitinho.
- **Lente de aumento**: Uma lente de aumento de 3X (ou mais) pode ajudar você a verificar junções de solda e ler números de partes pequeninas.
- **Terceira mão**: Não, não é um pedaço de corpo de um amigo seu. É uma ferramenta que você fixa na bancada e possui garras ajustáveis que seguram partes pequenas (ou uma lente de aumento) enquanto você estiver trabalhando. Isso faz com que tarefas como soldar alguma coisa sejam bem mais fáceis. Veja a Figura 9-4 para um exemplo de como usá-la.

Juntando panos e limpadores

Se você não mantiver os circuitos, componentes e outras partes dos seus projetos de eletrônica limpos, eles podem não funcionar como o esperado. É especialmente importante começar pela limpeza, se você estiver soldando componentes juntos ou numa placa de circuitos. Sujeira leva às más juntas de solda, e estas levam a circuitos falhos.

Aqui está uma lista de itens que podem ajudar você a manter seus projetos limpos:

- **Pano macio ou gaze**: Mantenha suas coisas livre de poeira usando um pano macio ou uma bandagem esterilizada.
- **Ar comprimido**: Um sopro de ar comprimido, disponível em latas, pode remover poeira de delicados interiores de equipamentos eletrônicos. Mas mantenha-o trancado quando não o estiver utilizando. Se utilizado como inalante, o ar comprimido pode causar a morte.

Figura 9-3: Alicates para cortar fios podam pontas de fio que aparecem na superfície.

Figura 9-4: Essas mãos auxiliares combinam garras--jacaré com lentes de aumento.

- **Limpador doméstico baseado em água**: Dê um *spray* de leve para remover alguma sujeira teimosa e excesso de graxa das ferramentas, superfícies de trabalho e da superfície exterior dos seus projetos. Não use isso perto de circuitos energizados, ou você pode acabar iniciando um curto em alguma coisa.
- **Limpador/desengordurador de eletrônicos**: Use apenas um limpador/desengordurador especificamente feito para circuitos eletrônicos.
- **Pincéis de pintura**: Pegue, tanto um pequeno quanto um largo para tirar o pó, mas evite os mais baratos e que soltam cerdas. Uma escova de dentes limpa e seca funciona também.
- **Escova de lâmpada fotográfica**: Disponível em lojas de fotografia, combina a ação de esfrega de uma escova macia com a ação de limpeza de um forte sopro de ar.
- **Limpador de contatos**: Disponível em *spray*, limpadores de contato possibilitam que você limpe contatos elétricos. Espalhe um pouco de *spray* em uma escova e então escove os contatos para dar uma boa limpada neles.
- **Cotonetes de algodão**: Absorva o excesso de óleo, lubrificante e limpador com os cotonetes.
- **Palito de cutícula e lixas de unha**: Raspe a sujeira das placas de circuito e contatos elétricos, e depois trate das suas unhas!
- **Borracha em forma de caneta rosa**: Ótimo para limpar contatos elétricos, especialmente contatos que tenham sido contaminados por ácido, vazado de alguma bateria. Deve ser rosa; outras borrachas podem deixar um resíduo difícil de remover. Evite esfregar a borracha na placa de circuitos, porque pode criar eletricidade estática.

Carregando lubrificantes

Motores e outras partes mecânicas, utilizadas em projetos eletrônicos, requerem certa quantidade de graxa ou óleo para funcionar, e você precisa lubrificá-los periodicamente. Há dois tipos de lubrificantes, comumente utilizados em projetos de eletrônica – e um tipo de que você deve evitar utilizar em seus projetos.

Evite utilizar um *spray* lubrificante sintético (como o WD-40 e o LPS) em seus projetos de eletrônica. Como você não pode controlar a largura do *spray*, pode acabar por lubrificar partes que não devem ser lubrificadas. Além disso, alguns lubrificantes sintéticos não são condutores, e a fina névoa deles pode ficar pelo caminho, interrompendo contatos elétricos.

Os lubrificantes corretos são:

- **Óleo de máquina leve**: Use este tipo de óleo para partes que giram. Evite utilizar óleo com ingredientes antioxidantes que possam reagir com partes plásticas, causando o derretimento delas. Uma seringa de óleo com um bico longo e fino é ideal para locais difíceis de atingir.
- **Graxa sintética**: Use graxa de lítio ou outra graxa sintética para partes que se mexem ou deslizam.

Você pode encontrar óleo de máquina e graxa sintética em lojas de equipamentos eletrônicos, assim como em muitas lojas de equipamentos para música, costura, *hobby* ou *hardware*.

Não aplique um lubrificante, a menos que você saiba, com certeza, que uma parte mecânica precisa dele. Certos plásticos autolubrificantes, usados para componentes mecânicos podem quebrar quando expostos a lubrificantes baseados em petróleo. Se você estiver consertando um aparelho de CD ou outros equipamentos eletrônicos, verifique com o fabricante as instruções relacionadas com o uso de lubrificantes.

Estocando coisas que grudam

Muitos projetos de eletrônica requerem que você use um adesivo de algum tipo. Por exemplo, você pode precisar segurar uma pequena placa de circuito impresso, do lado de dentro de uma caixa de projeto de bolso. Dependendo da aplicação, você pode usar um ou mais dos seguintes adesivos:

- **Cola branca doméstica**: É mais usada para projetos que envolvam madeira ou outro material poroso. Deixe a cola secar por uns 20-30 minutos e curar por umas 12 horas.
- **Epoxy**: Cria ligamentos fortes e resistentes à umidade, e pode ser usada para qualquer material. Deixe a cola epoxy assentar por uns 5-30 minutos e curar por umas 12 horas.
- **Cola Cianoacrilato (CA) ou super cola**: Liga quase qualquer coisa (incluindo dedos, se não for usada com cuidado), quase instantaneamente. Use cola CA comum quando estiver ligando partes lisas e que se encaixem perfeitamente; use a cola CA mais forte se as partes não combinarem 100%.
- **Fita acolchoada de dupla face (double-sided foam tape)**: É uma maneira rápida de segurar circuitos em caixas ou de ter certeza de que componentes, frouxamente colocados, fiquem no lugar.
- **Pistola de cola quente**: Permite que você cole coisas com um tempo de secagem de apenas 30 segundos. Esta cola à prova d’água e que preenche espaços, vem em uma barra que você coloca no espaço de uma pistola, que aquece a cola até uns 120-175°C – quente o suficiente para machucá-lo, mas não o suficiente para derreter a solda.

Outras ferramentas e suprimentos

Há três outros itens que recomendamos que você adquira, antes de começar qualquer trabalho em eletrônica:

- **Óculos de segurança**: Óculos de segurança de plástico, estilosos, nunca saem de moda. Eles são uma necessidade para proteger seus olhos de pedaços de fio que voam, pingos de solda, partes eletrônicas explodindo e muitos outros pequenos objetos. Se você tiver que usar óculos, coloque os de segurança sobre eles, para garantir proteção completa ao redor dos seus olhos.
- **Correia de pulso antiestática**: Esta fita barata previne que descargas eletrostáticas danifiquem componentes eletrônicos sensíveis. Discutiremos isso, mais tarde, neste capítulo.
- **Guia e kit de primeiros socorros**: Queimaduras (ou pior) podem acontecer quando se trabalha com circuitos eletrônicos. Manter um *kit* de primeiros socorros na sua bancada de trabalho é uma boa ideia. Não esqueça de incluir um guia de como aplicar os primeiros socorros.

Vai chegar um tempo em que você irá querer colocar um projeto de eletrônica em algum tipo de recipiente, com fios ou com botões aparecendo. Por exemplo, digamos que você construa um *display* de luzes de Natal com uma taxa de piscagem controlável. Pode ser que queira colocar o circuito principal em uma caixa, cortar um buraco e inserir um *potenciômetro* (resistor variável) pelo buraco para que você (ou outra pessoa) possa controlar a rapidez das piscadas. Ou então, pode querer construir um circuito que detecte intrusos abrindo sua geladeira. Você pode disfarçar o circuito como um pote de pães e colocá-lo perto da geladeira. De qualquer forma, vai precisar de algumas ferramentas ou componentes adicionais para colocar seu projeto na caixa.

Aqui está uma lista de suprimentos e ferramentas associadas, que poderá precisar para isso:

- **Caixas prontas**: Você pode encontrar caixas de madeira simples e não acabadas em lojas de material para artesanato, ou caixas ABS de plástico, na maioria das lojas de eletrônicos. Ou poderá fazer sua própria caixa de compensado de madeira ou plástico PVC, usando algum tipo de adesivo, para mantê-la firme.
- **Clipes para fios**: Clipes de plástico com costas adesivas seguram os fios no lugar, ao longo da parte de dentro da sua caixa.
- **Presilhas (*cable ties*)**: Use-as para fixar os fios em superfícies não planas, como uma cravilha de madeira.
- **Furadeira elétrica**: Uma furadeira com uma boca de 1 cm ajuda na hora de fazer buracos na sua caixa, para os interruptores de controles. Você também pode utilizá-la para fixar rodas ou outras partes externas na sua caixa.
- **Serra manual**: Você pode usar uma serra em arco para cortar madeira e plástico para fazer sua caixa, e um arco de serra para marchetaria, para cortar grandes aberturas na sua caixa.

Estocando Partes e Componentes

Ok, então você está com sua bancada preparada, completa com chaves de fenda, alicates e serras, está usando seus óculos de segurança e sua fita de pulso antiestática (juntamente com suas roupas normais, por favor!) além de seu ferro de soldar ligado e pronto para o uso. Então, o que está faltando? Ah sim, componentes de circuitos.

Quando você faz uma compra de componentes de circuitos, normalmente não sai e compra exatamente as partes listadas em um particular diagrama de circuito, ou *esquema*. Você compra um conjunto de partes, de forma a poder construir diversos projetos diferentes, sem ter que correr para comprar partes, cada vez que tentar algo novo. Pense nisso como pegar ingredientes para cozinhar. Você mantém alguns componentes básicos o tempo todo à mão, por exemplo: farinha, açúcar, óleo, arroz e temperos; e compra outros ingredientes, o suficiente para possibilitar que você cozinhe as coisas que quiser, por uma semana ou duas. Bem, é a mesma coisa ao estocar partes e componentes eletrônicos.

Nesta seção, nós diremos que partes e quanto delas deverá manter por perto, para poder construir alguns projetos básicos de eletrônica.

Matriz de Contatos (Protoboards)

Uma *matriz de contatos (protoboard)* é similar, de uma certa maneira, a uma base para LEGO: É uma superfície na qual você pode construir circuitos temporários, simplesmente plugando componentes, nos buracos dispostos em linhas e colunas por toda a placa. Você pode muito facilmente desmontar um circuito e construir outro, completamente diferente, na mesma superfície.

Esses buracos em uma *protoboard* não são apenas simples buracos; eles são *buracos de contato,* com fios de cobre dentro da placa, de forma que componentes plugados em dois ou mais buracos, inserido em uma mesma linha, estejam conectados por baixo da superfície da *protoboard*. Você pluga seus *componentes discretos* (resistores, capacitores, diodos e transistores) e *circuitos integrados* (*CIs*) da maneira correta e – *voilà!* – você tem um circuito conectado, sem necessidade de nenhuma solda. Quando você estiver cansado do circuito, poderá simplesmente remover as partes e construir alguma outra coisa, usando a mesma *protoboard* (matriz).

A Figura 9-5 a seguir mostra uma pequena *protoboard* com um circuito energizado por bateria, conectado. A protoboard na Figura tem as seções de linhas e colunas conectadas de uma certa forma, por baixo da superfície. Discutiremos como os diversos buracos de contato são conectados, no Capítulo 11, onde também discutiremos como construir circuitos, usando *protoboards*. Por agora, saiba apenas que diferentes tamanhos de *protoboards*, com diferentes números de buracos, estão disponíveis.

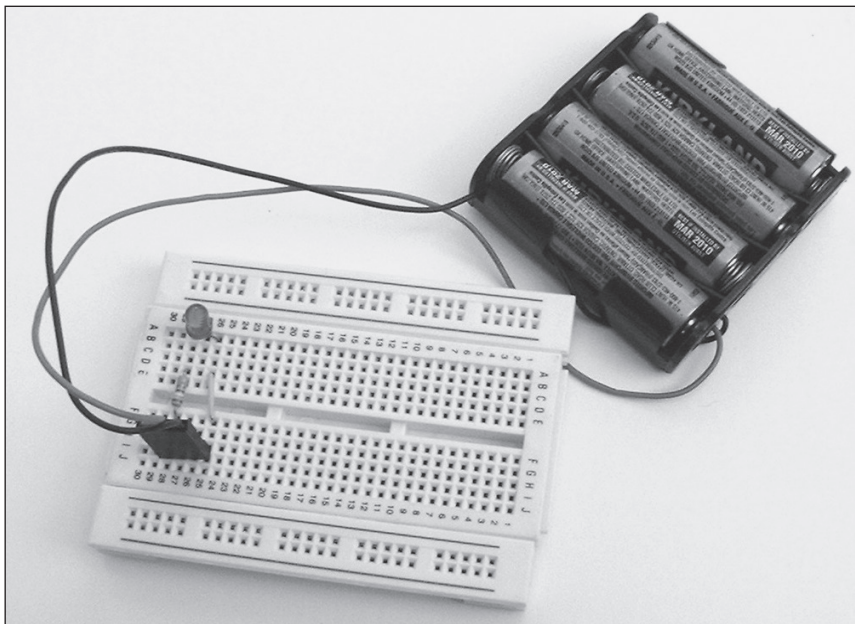



Figura 9-5: Você pode construir um circuito em uma pequena *protoboard*, em alguns minutos.

Uma *protoboard* pequena típica possui 400 buracos de contato, e é útil para construir pequenos circuitos, com não mais do que dois CIs (e mais outros componentes discretos). Uma típica *protoboard* maior contém 830 contatos, e você pode usá-la para construir circuitos um pouco mais complexos. Você também pode conectar múltiplas *protoboards*, simplesmente conectando um ou mais fios, entre os buracos de contato de uma, aos da outra.

Recomendamos que compre, pelo menos, duas *protoboards*, e que uma delas seja grande (830 buracos). Também, compre algumas fitas de velcro com a parte de trás adesiva, para ajudar a manter a *protoboard* no lugar, na sua superfície de trabalho.

Você comumente usa uma *protoboard* para testar suas ideias de *design* de circuito, ou para explorar circuitos, ao ir aprendendo como as coisas funcionam (como você pode fazer com os circuitos de aprendizado no Capítulo 14). Se você criar e testar um circuito, usando uma *protoboard* e quiser usá-lo por um longo prazo, poderá recriar o circuito em uma placa de circuito impresso (PCB – Printed Circuit Board). Uma PCB é um tipo de *protoboard*, mas em vez de buracos de contato, ela possui buracos normais, com anéis de cobre circulando cada um deles e linhas de metal conectando-os dentro de cada linha. Você faz conexões soldando terminais de componentes nos anéis de cobre, assegurando-se de que os componentes, ao ser conectados, estejam localizados na mesma linha. Neste livro, focalizamos exclusivamente na construção de circuitos, usando *protoboards*.

Kit inicial de construção de circuitos

Você precisa de um sortimento de componentes eletrônicos discretos (aqueles com dois ou três terminais individuais), uns poucos CIs, diversas baterias, e muito fio para conectar as coisas. Alguns componentes, como resistores e capacitores, vêm em pacotes de dez ou mais partes individuais. Você ficará feliz em saber que esses componentes não são caros, mas quando somar tudo, verá que isso vai custar uma ou duas semanas de cafezinhos para estocar.

Pode ser que você queira refrescar sua memória sobre o que esses componentes são e como eles funcionam, lendo os outros capítulos deste livro. Resistores e potenciômetros são abordados no Capítulo 3, capacitores no Capítulo 4 e diodos (incluindo LEDs) e transistores no Capítulo 6. Circuitos integrados no Capítulo 7 e baterias e fios no Capítulo 8.

Aqui estão os componentes discretos, com os quais recomendamos que você comece:

- **Resistores fixos (filme de carbono de ¼ watt ou ½ watt)**: De 10-20 (1 ou 2 pacotes) de cada uma dessas resistências: 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ, 2,2 kΩ, 22 kΩ, 220 kΩ, 33 kΩ, 470 Ω, 4,7 kΩ, 47 kΩ, 470 kΩ.
- **Potenciômetros**: Dois de cada: 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ.
- **Capacitores**: 10 de cada (1 pacote) de 0,01μF e 0,1μF não polarizados (poliéster ou disco cerâmico); 10 de cada (1 pacote) de 1μF, 10μF, 100μF eletrolítico; 3-5 cada de 220 μF e 470 μF eletrolítico.
- **Diodos**: Um de cada: diodo retificador 1N4001 (ou qualquer 1N400X), diodo de sinal pequeno 1N4148, diodo Zener 4,3 volts (ou de outra voltagem, Zener entre 3 e 7 volts).
- **LEDs**: 10 de cada (1 pacote) de LEDs de 5mm difusos das cores vermelho, amarelo e verde.
- **Transistores**: 3-5 transistores bipolares de baixa potência de uso geral (como o 2N3904 NPN ou o 2N3906 PNP) e 3-5 transistores bipolares de média potência (como o NTE 123A NPN ou o NTE159M PNP). (Usaremos o 2N3906 em um projeto no Capítulo 15.)

Sugerimos que você consiga alguns desses CIs populares:

- **CI timer 555**: Uns 3-5 destes, você vai usar!
- **CIs amp-op**: Um ou dois amp-ops, como o amplificador de uso geral LM741.
- **CI contator de década CMOS 4017**: Serve um só. Usaremos em um projeto do Capítulo15. Pegue dois se você quiser fazer um contador de dezenas também, como nós discutimos no Capítulo 7, ou se achar que poderá vir a, acidentalmente, queimar o primeiro com uma descarga eletrostática.

Não esqueça destes componentes essenciais de baterias e fios:

- **Baterias**: Pegue um sortimento de baterias de 9 V, assim como algumas de 1,5 V O tamanho depende de quanto tempo você achar que vai deixar o circuito rodando.
- **Clipes para bateria e agrupadores**: Estes dispositivos conectam a bateria e fornecem terminais em fio, para facilitar a conexão da energia da bateria com seu circuito. Arranje uns 3-5 clipes para os tamanhos de bateria que você planeja utilizar.
- **Fios**: Fio sólido de 20-22 gauge. Você consegue comprar um rolo de uns 30 metros em uma variedade de cores, por pouco dinheiro. Você o corta em vários tamanhos e tira o isolante de cada ponta, para conectar os componentes. Pode soldar cada ponta a um terminal de componentes, ou inserir cada ponta nos buracos de contato da sua *protoboard*. Alguns fornecedores de equipamentos de eletrônica vendem *kits*, contendo dúzias de *fios jumper* pré-cortados e pré-descascados, de vários tamanhos e cores, ideais para *protoboards*.

Você pode usar um jumper como um tipo de interruptor de on/off no seu circuito, conectando ou desconectando energia ou componentes. Apenas coloque uma ponta do jumper na *protoboard* e, alternadamente, coloque ou retire a outra ponta para fazer ou completar a conexão.

Juntando os extras

Há muitas outras partes e componentes, que podem enriquecer seus circuitos. Recomendamos que você arranje alguns desses, listados aqui:

- **Garras-jacaré**: Assim chamadas, porque elas parecem as presas de um jacaré, estes clips isolados podem ajudar você a conectar equipamento de teste a terminais de componentes, e podem fazer o papel de dissipadores de calor! Pegue um bocado (10 ou mais).
- **Alto-falante**: Você vai construir circuitos que fazem barulho, então compre um ou dois alto-falantes miniatura de 8 ohm.
- **Interruptores**: Se você acha que vai colocar um ou mais projetos em uma caixa e quer um painel frontal para controlar o liga/desliga, pegue alguns interruptores SPST, como um SPST minirocker. Por um pouco mais de dinheiro você pode conseguir um com um LED interno que acende quando o interruptor estiver na posição de ligado.

Organizando todas as suas partes

Manter todas essas partes e componentes organizados, é essencial – a menos que você seja do tipo que gosta de procurar em armários cheios de tralha, por algum item pequeno, e muito importante. Uma maneira fácil de organizar isso é ir a uma loja e comprar um ou mais conjuntos de gaveteiros de plástico transparente. E, então rotular cada gaveta com um componente em particular (ou grupo de componentes, como LEDs, resistores de 10-99Ω, e por aí vai). Você vai saber num instante onde está tudo, e será capaz de ver quando seu estoque estiver ficando baixo.

Protegendo Você e Sua Eletrônica

Você provavelmente sabe que Benjamin Franklin "descobriu" a eletricidade em 1752, ao empinar uma pipa em uma tempestade de raios. Na verdade, Franklin já sabia sobre a eletricidade e estava bem ciente do seu poder potencial – e perigo potencial. Ao fazer seu experimento, Franklin foi cuidadoso em isolar-se dos materiais condutivos fixados na pipa (a chave e o fio de metal) e manter-se seco, ao se abrigar em um celeiro. Se ele não tivesse feito isso, a nota de 100 dólares possivelmente traria outro rosto estampado nela!

O respeito pelo poder da eletricidade é necessário, ao se trabalhar com eletrônica. Nesta seção, você dará uma olhada em como se manter – e seus projetos eletrônicos – seguro. Esta é a seção que você realmente deve ler do início ao fim, mesmo se já tiver alguma experiência com eletrônica.

Ao ler esta seção, lembre-se de que você pode descrever corrente elétrica como sendo uma das seguintes:

- **Corrente contínua (DC)**: Os elétrons fluem somente de uma maneira pelo fio ou circuito.
- **Corrente alternada (AC)**: Os elétrons fluem de uma maneira e depois de outra, em um ciclo contínuo.

Veja o Capítulo 2 para mais informações sobre estes dois tipos de corrente elétrica.

Entendendo que eletricidade pode realmente ferir

De longe, o mais perigoso aspecto de trabalhar com eletrônica é a possibilidade de eletrocussão. O choque elétrico se dá quando o corpo reage a uma corrente elétrica – esta reação pode incluir uma intensa contração dos músculos (o coração) e temperatura extremamente alta, no ponto de contato entre sua pele e a corrente elétrica. O calor provoca queimaduras, que podem matar ou desfigurar. Mesmo pequenas correntes podem perturbar seu batimento cardíaco.

O grau de choque elétrico que pode ferir você dependerá de um conjunto de características, incluindo sua idade, saúde em geral, a voltagem e a corrente. Se você tiver mais de 50 anos de idade ou tiver uma saúde ruim, provavelmente não irá aguentar o ferimento tão bem quanto se tivesse 14 e a saúde de um atleta olímpico. Mas não importa quão jovem e saudável você seja, voltagem e corrente podem dar um tremendo tranco, então é importante que você entenda o quanto elas podem ferir.

Os dois caminhos mais perigosos pelo corpo humano são de mão a mão e da mão esquerda para um dos pés. Se a corrente elétrica passar de uma mão para a outra, pelo caminho, ela passará pelo coração. Se a corrente passar da mão esquerda para um dos pés, ela também passará pelo coração e por diversos órgãos importantes.

Vendo a si mesmo como um resistor gigante

O seu corpo exibe alguma resistência à corrente elétrica, em grande parte pela pouca qualidade condutiva da pele seca. A quantidade de resistência pode variar tremendamente, dependendo da química do corpo, do nível de umidade na pele, do caminho total no qual a resistência é medida e outros fatores. Você verá números variando de 50.000 ohms a 1.000.000 ohms de resistência para um ser humano médio. Nós discutimos o que resistência é e como é medida no Capítulo 3.

Se a sua pele estiver úmida (digamos que você tenha as mão suadas), se estiver usando um anel de metal, ou estiver sentado em uma poça d'água, pode apostar que sua resistência estará baixa. Números da indústria indicam que tal atividade pode resultar em resistências tão baixas quanto 100-300 Ω de uma mão para a outra, ou de uma mão para um pé. Não é muita resistência.

Para fazer as coisas ficarem piores, se você estiver lidando com altas voltagens AC (o que não deveria fazer), a resistência da sua pele – seca ou molhada – não vai lhe ajudar em nada. Quando estiver em contato com um metal, seu corpo e o metal formam um capacitor. O tecido embaixo da pele é uma placa, o metal é a outra placa e sua pele é o dielétrico. Veja o Capítulo 4 para o básico sobre capacitores. Se esse fio de metal que você está segurando estiver conduzindo uma corrente AC, o capacitor, que é o seu corpo, age como um curto-circuito, permitindo que a corrente ignore a resistência da sua pele. Choques de voltagem maior que 240 volts vão queimar através da pele, deixando queimaduras de terceiro grau profundas, nos pontos de entrada.

Sabendo quanta voltagem e corrente podem machucar você

Você já viu placas: PERIGO! ALTA VOLTAGEM. Então você pode achar que voltagem é o que causa ferimento ao corpo humano, mas é na verdade a corrente que fere. Então, por que os sinais? É porque quanto maior a voltagem, mais corrente pode fluir por uma mesma quantidade de resistência. E como o corpo humano é um resistor gigante, você deve ficar longe de altas voltagens.

Quanta corrente é necessária para ferir um ser humano médio? Não muita. A Tabela 9-1 resume algumas estimativas de quanta – ou quão pouca – corrente DC ou AC de 60 Hz (hertz) é necessária para afetar o corpo humano. Lembre-se que um miliampere (mA) é um milionésimo de um ampere (ou 0,001 A). Perceba que isto são *estimativas* (ninguém fez experimentos em seres humanos para derivar estes números), e que cada pessoa é afetada de maneira diferente, dependendo da idade, química corporal, saúde e outros fatores.

Como mostra a Tabela 9-1, o corpo humano médio é de quatro a seis vezes mais sensível à corrente AC do que à corrente DC. Enquanto uma corrente DC de 15 mA não é tão perigosa, 15 mA de corrente alternada tem o potencial de causar a morte.

Tabela 9-1 Efeitos da Corrente no Corpo Humano Médio

Efeito	*Corrente DC*	*Corrente AC a 60-Hz*
Pequena sensação de formigamento	0,6-1,0 mA	0,3-0,4 mA
Sensação perceptível	3,5-5,2 mA	0,7-1,1 mA
Sensação de dor, mas o controle muscular é mantido	41-62 mA	6-9 mA
Sensação de dor, incapacidade de soltar os fios	51-76 mA	10-16 mA
Dificuldade de respiração (paralisia dos músculos peitorais)	60-90 mA	15-23 mA
Fibrilação cardíaca (em 3 segundos)	500 mA	65-100 mA

Então, o que tudo isso significa para seu *hobby* de eletrônica? Você provavelmente conhece o suficiente para ficar longe de altas voltagens, mas, e sobre ficar mais íntimo das baixas voltagens? Bem, mesmo baixas voltagens podem ser perigosas – dependendo da sua resistência.

Lembre-se que a Lei de Ohm (que nós vimos no Capítulo 3) diz que a voltagem é igual a corrente vezes a resistência:

V(voltagem) = I(corrente) x R(resistência)

Vamos dizer que você esteja seco, sem anel no dedo, não esteja sentado numa poça, e sua resistência de mão a mão seja em torno de 50.000 ohms. (Tenha em mente que sua resistência nessa condição seca e sem anel pode, na verdade, ser menor.) Você pode fazer uma estimativa (repita: *estimativa*) dos níveis de voltagem que podem ferir você, multiplicando sua resistência pelos diferentes níveis de corrente na Tabela 9-1. Por exemplo, se você não quiser nem mesmo sentir uma leve sensação de formigamento nos dedos, você precisa evitar entrar em contato com fios carregando voltagens DC de 30 V (isto é 0,6 mA × 50.000 Ω). Para evitar contrações musculares involuntárias (ficar agarrado no fio), você precisa manter a corrente AC abaixo de 10 mA, então evite uma proximidade com 500 volts AC (VAC) ou mais.

Agora, se você não é tão cuidadoso e estiver usando um anel, enquanto mexe com eletrônica, ou pisar numa poça d'água criada por um cão ou criança pequena, você pode, acidentalmente, baixar sua resistência para um nível perigoso. Se sua resistência for 5.000 ohms – e pode ser ainda menor – notará uma sensação se manipular 17,5 V (porque 5.000Ω × 0.0035A = 17,5V), e perderá o controle muscular, tendo dificuldade para respirar, se manipular 120 VAC (porque $\frac{120V}{5.000\Omega}$ = 0,024A = 24m A).

Sistemas elétricos de residências no Brasil operam em 120 VAC. Esta significante alta voltagem pode, e consegue, matar você. Você deve ter *extrema cautela* se for alguma vez trabalhar com linha de potência de 120 VAC.

Até se tornar experiente nos caminhos da eletrônica, você deve evitar circuitos que operem diretamente da corrente de casa. Mantenha-se em circuitos que operem com baterias de tamanho padrão, ou com aqueles pequenos transformadores de parede. Você pode ler sobre essas fontes DC no Capítulo 8. A menos que faça alguma coisa tola, como lamber o terminal de uma bateria de 9V (e, sim, isto vai dar choque!), você vai estar bem seguro com essas voltagens e correntes.

O principal perigo da corrente doméstica é o efeito que ela pode ter no seu músculo cardíaco. São precisos apenas de 65-100 mA para fazer seu coração fibrilar, o que quer dizer que os músculos contraem-se de uma maneira descontrolada e desordenada – e o coração fica sem bombear sangue. Em níveis muito mais baixos (10-16 mA), a corrente AC pode causar contrações musculares severas, então o que pode começar como uma pegadinha rápida num fio de alta voltagem (para movê-lo um pouco, ou algo como isso) acaba como uma segurada firme e que não solta. Acredite em nós: você não seria capaz de soltar. Uma pegada mais firme significa uma resistência menor (deixando mais fácil para os elétrons irem da sua mão para o seu corpo), e baixa resistência significa maior corrente (frequentemente fatal). Situações como essa realmente acontecem. O corpo age como um resistor variável, com sua resistência diminuindo acentuadamente, na medida em que as mãos apertam mais os fios.

Os perigos potenciais das correntes DC não devem ser ignorados também. Queimaduras são a forma mais comum de ferimento causado por correntes DC altas. Lembre-se que a voltagem não precisa vir de uma usina elétrica para ser perigosa. É bom respeitar mesmo uma bateria de 9 V: se você cortar os terminais, a bateria pode superaquecer e pode até explodir. Explosões de baterias frequentemente espalham pequenos pedacinhos de bateria a grandes velocidades, queimando a pele ou ferindo os olhos.

Trabalhando com circuitos AC

Apesar de recomendarmos fortemente que evite trabalhar com circuitos que funcionem diretamente a partir da tomada da sua casa, percebemos que você pode não conseguir fazer isso sempre. Aqui estão algumas dicas projetadas para ajudar você a evitar a eletrocussão, se escolher trabalhar com energia AC.

- **Use uma fonte de energia autocontida**. Se seus projetos precisarem de fonte de energia AC (que converte AC para DC de baixa voltagem), use uma fonte de energia autocontida, tal como um transformador de parede. É muito mais seguro do que usar a energia direto da tomada. Um *transformador de parede* é uma pequena caixa-preta com pinos de tomada, como aquela que você usa para carregar seu celular.
- **Mantenha seu AC longe de seu DC**. Fisicamente separar as partes AC e DC do seu circuito pode ajudar a prevenir um grande choque, se um fio ficar solto.
- **Mantenha os circuitos AC cobertos**. Uma pequena cobertura de plástico faz maravilhas.
- **Use um fusível apropriado**. Não use um fusível com uma tolerância muito alta e evite encostar o fusível em algum dispositivo.
- **Verifique duas ou três vezes seu circuito antes de energizá-lo**. Peça a alguém que entenda de circuitos para inspecionar seu trabalho, antes de ligar o circuito pela primeira vez. Se você testá-lo mais, primeiro remova a energia, desplugando a fonte da parede.
- **Ao inspecionar um circuito funcionando, mantenha uma das mãos no bolso o tempo todo**. Ao usar apenas uma mão para manipular o aparato de teste, você evita a situação onde uma mão toca a terra e a outra um circuito energizado, deixando AC fluir pelo seu coração.
- **Tome cuidado ao colocar seu circuito em um recipiente**. Use uma caixa de metal apenas se o recipiente estiver completamente aterrado. Você precisa usar uma tomada de três pinos para isso. Fixe firmemente o fio verde (que está sempre conectado ao terra) ao metal do recipiente. Se não puder garantir um recipiente de metal completamente aterrado, use um de plástico. O plástico ajuda a isolar você de qualquer fio solto ou eletrocussão. Para projetos que não estejam totalmente aterrados, use somente uma fonte de energia isolada, tal como um transformador de parede.
- **Segure todos os fios dentro do seu projeto**. Use um *strain relief* (a braçadeira plástica de libertação de tensão) ou um cabo para segurar o fio de alimentação do seu projeto para que não se exponha a um fio vivo. Um *strain relief* (disponível em lojas de eletrônicos e de *hardware*) fica ao redor do fio e previne que você puxe o fio para fora do recipiente.
- **Inspecione periodicamente os circuitos AC**. Procure por fios e componentes desgastados, quebrados ou soltos e prontamente faça quaisquer reparos necessários – com a energia desligada!
- **Erre por excesso de cuidado**. Aprenda uma coisa com o Sr. Murphy, e assuma que se algo puder dar errado, vai dar. Mantenha seu ambiente de trabalho livre de todos os líquidos, bichinhos de estimação e crianças pequenas. Coloque um guia de primeiros socorros por perto. Não trabalhe quando estiver cansado ou distraído. Fique sério e focado enquanto estiver trabalhando com eletricidade.

Uma palavra final. Se você tiver que trabalhar com voltagens AC, *não faça isso sozinho*. Certifique-se de ter um companheiro – de preferência alguém que não esteja no seu testamento – por perto e que seja capaz de telefonar para a emergência quando você estiver estirado no chão e inconsciente. É sério.

Maximizando sua resistência – e sua segurança

Quando estiver trabalhando com eletrônica, vale a pena maximizar sua resistência para o caso de você entrar em contato com um fio exposto. Tenha certeza de que qualquer ferramenta que você pegue seja isolante, para que haja mais resistência entre você e quaisquer voltagens que venha a encontrar.

Tome precauções simples para assegurar que sua área de trabalho esteja seca e continue seca. Por exemplo, não coloque um copo com água ou café perto demais da sua área de trabalho; se você acidentalmente derrubá-lo, pode baixar sua própria resistência ou curtar componentes do circuito.

Mantendo um guia de primeiros socorros por perto

Mesmo se você for a pessoa mais segura do planeta, ainda é uma boa ideia arranjar um desses guias de primeiros socorros de colocar na parede, que inclua informações sobre o que fazer em caso de choque elétrico. Você pode encontrá-lo na internet; compre também um pôster sobre primeiros socorros. Você pode encontrá-lo nos catálogos de suprimentos para escola e indústria.

Ajudar alguém que tenha sido eletrocutado pode requerer ressuscitamento cardiopulmonar (CPR – *cardio-pulmonary resuscitation*). Assegure-se de que você seja apropriadamente treinado antes de fazer CPR em alguém. Verifique em `www.redcross.org` para obter mais informações sobre treinamento em CPR.

Soldando em segurança

O ferro de soldar utilizado para juntar componentes em um projeto de eletrônica, opera em temperaturas que podem passar dos 370 graus Celsius. Você pode ler sobre soldagem no Capítulo 11. É quase a mesma temperatura de um fogão elétrico posto em alta temperatura. Você pode imaginar quanto isso vai machucar, se tocar nele.

Quando estiver usando um ferro de soldar, mantenha as seguintes dicas de segurança em mente:

- **Solde apenas em uma área bem ventilada**. Soldar produz um pouco de fumaça cáustica e tóxica que pode irritar seus olhos e garganta.
- **Use óculos de segurança quando soldar**. Solda é conhecida por respingar.
- **Sempre ponha seu ferro de soldar em um apoio projetado para isso**. Nunca coloque o ferro de soldar quente diretamente sobre a mesa ou bancada. Você pode facilmente começar um fogo ou se queimar desse jeito.
- **Tenha certeza de que o fio elétrico não enrosque na mesa ou qualquer outro objeto**. De outra forma, o ferro de soldar quente pode ser arrancado do apoio e cair no chão. Ou pior, bem no seu colo.

- **Use a configuração de soldagem apropriada**. Se seu ferro de soldar tiver um controle de temperatura ajustável, coloque no ajuste recomendado para o tipo de solda que você estiver usando. Calor demais pode estragar um bom circuito.
- **Nunca solde um *circuito vivo* (um circuito no qual você aplicou eletricidade)**. Você pode danificar o circuito ou o ferro de soldar – e pode receber um choque bem feio.
- **Nunca agarre um ferro de solda caindo**. Apenas deixe cair, e compre um novo se o ferro se danificar.
- **Considere usar solda de prata**. Se você se preocupar sobre questões de saúde – ou tiver a mania de enfiar os dedos na boca, ou esfregar os olhos demais – pode ser que queira evitar soldas que contenham chumbo. Em vez disso, use solda de prata, especificamente projetada para uso em equipamento eletrônico. Nunca use solda acid-flux; ela acaba com seus circuitos.
- **Desplugue seu ferro de soldar quando terminar de usá-lo**.

Evitando estática como se fosse praga

Um tipo de eletricidade do dia a dia que pode ser perigosa para pessoas e componentes eletrônicos é a eletricidade estática. Ela é chamada *estática* porque é uma forma de corrente que permanece aprisionada em algum corpo isolante, mesmo após você remover a fonte de energia. A eletricidade estática fica por ali até ser dissipada de alguma forma. A maior parte da estática se dissipa devagar com o tempo, mas em alguns casos, ela é liberada toda de uma vez. O relâmpago é uma das formas mais comuns de eletricidade estática.

Se você esfregar seu pé em um carpete, seu corpo fica com carga estática. Se você então tocar um objeto de metal, tal como uma maçaneta, a estática rapidamente descarrega do seu corpo, e você sente um pequeno choque. Isto é conhecido como *descarga eletrostática* (*ESD – electrostatic discharge*), e pode ser tão alta quanto 50.000 V. A corrente resultante é pequena – na faixa de µA – por causa da alta resistência do ar que as cargas enfrentam ao deixar seus dedos, e ela não dura muito. Então, choques estáticos do tipo maçaneta de porta geralmente não infligem dano corporal – mas podem facilmente destruir componentes eletrônicos sensíveis.

Por outro lado, choques estáticos de certos tipos de componentes podem ser perigosos. O *capacitor*, um componente eletrônico que armazena energia em um campo elétrico, é projetado para conservar uma carga estática. A maioria dos capacitores em circuitos eletrônicos armazena uma quantidade de carga muito pequena por períodos de tempo extremamente curtos, mas alguns capacitores, tais como os utilizados em fornecimento de energia, podem armazenar doses quase mortais por diversos minutos – ou mesmo por horas.

Tenha cuidado quando trabalhar com capacitores que possam armazenar muita energia, para que você não tome um choque indesejado.

Sendo sensível à descarga estática

A ESD que resulta do esfregar seu pé em um carpete ou pentear seu cabelo em um dia seco pode chegar a milhares de volts – ou mais. Apesar de você provavelmente experimentar apenas uma pequena picada, seu equipamento eletrônico pode não ter tanta sorte. Transistores e circuitos integrados (CIs) feitos utilizando tecnologia de *metal-oxide semiconductor* (MOS – semicondutor de metal óxido) são particularmente sensíveis à ESD, não importando a quantidade de corrente.

Um dispositivo MOS contém uma pequena camada de vidro isolante, que pode ser facilmente detonada por uma descarga de 50 V ou menos. Se você, suas roupas, ou suas ferramentas não estiverem livres de descarga estática, o transistor MOS de efeito de campo (MOSFET) ou o CI MOS (CMOS) complementar, que você estava planejando usar não passarão de um carvão inútil. Por serem construídos diferentemente, os transistores bipolares são menos susceptíveis a dano por ESD. Outros componentes – resistores, capacitores, indutores, transformadores e diodos – não parecem ser afetados por ESD.

Recomendamos que você desenvolva hábitos de segurança contra estática para todos os componentes com que você lida, sejam eles muito sensíveis ou não.

Minimizando eletricidade estática

Você pode apostar que a maioria dos projetos eletrônicos que quer construir contém pelo menos um componente que seja susceptível a dano por descarga eletrostática. Você pode tomar estas precauções para prevenir expor seus projetos aos perigos da ESD:

- **Use uma pulseira antiestática**: Mostrada na Figura 9-6, uma pulseira antiestática aterra você e previne que a estática se acumule. É um dos meios mais efetivos de eliminar ESD, e é barato. Para usar uma, enrole a manga da camisa; remova todos os anéis, relógio, braceletes e outros metais e enrole a pulseira ao redor do seu pulso, firmemente. Depois, fixe o fio da pulseira a uma conexão terra apropriada, que pode ser a superfície nua (sem pintura) da torre do computador – com o computador ligado – ou simplesmente ao receptáculo do terra de uma tomada de parede, apropriadamente instalada. Leia a folha de instruções que vier com a pulseira.
- **Use roupas com baixa estática**: Sempre que possível, use tecidos naturais, como algodão ou lã. Evite roupas de poliéster ou acetato porque esses tecidos acumulam um monte de estática.
- **Use uma capa antiestática**: Disponível em variedades para mesa e piso, uma capa antiestática se parece com uma esponja, mas é realmente um material condutivo. Ele pode reduzir ou eliminar a acumulação de energia estática na sua mesa ou no seu corpo.

Figura 9-6: Uma pulseira antiestática reduz o risco de descarga eletrostática.

Normalmente, usar roupas de algodão e usar uma pulseira antiestática é o suficiente para prevenir danos por ESD.

Aterrando suas ferramentas

As ferramentas que você usa ao construir projetos de eletrônica podem também acumular eletricidade estática – e um bocado dela. Se seu ferro de solda opera em corrente AC, aterre-o, para se defender de ESD. Há um duplo benefício aqui: um ferro de soldar aterrado, não apenas ajuda a prevenir danos de ESD, como também diminui a chance de um grande choque, se você acidentalmente tocar em um fio vivo com o ferro.

Ferros de soldar baratos usam apenas tomadas de dois pinos e não têm conexão terra. Alguns ferros de soldar com tomada de três pinos ainda oferecem perigo de ESD, porque suas pontas não são aterradas, mesmo que seu corpo seja. Como você não vai conseguir encontrar uma maneira segura e certa de fixar um fio terra na ponta de um ferro de soldar, a sua melhor aposta é pegar algum dinheiro a mais para comprar um ferro de soldar novo e bem aterrado. Nós recomendamos o Weller WES51 ou o Hakko 936, ambos são protegidos contra ESD e com preço razoável. Vamos lá, você pode abrir mão de alguns cafezinhos para garantir sua segurança!

Na medida em que você se aterre, utilizando uma pulseira antiestática, geralmente não precisará aterrar suas outras ferramentas de metal, como as chaves de fenda e cortadores de fio. Qualquer estática gerada por essas ferramentas é dissipada através do seu corpo, pela pulseira antiestática.

Lista de verificação de segurança

Depois de ter lido todos os avisos de segurança neste capítulo, você pode querer revisar essa lista simples de requisitos *mínimos* de segurança, antes de começar um projeto de eletrônica. Melhor ainda, você pode fazer uma cópia dessa lista e colá-la na sua bancada, como um lembrete dos passos simples, que podem garantir sua segurança – e o bem-estar dos seus projetos de eletrônica.

Verificação do espaço de trabalho:

- Ampla ventilação;
- Superfície de trabalho e chão secos;
- Nenhum líquido, bicho de estimação ou criança pequena num raio de 3 metros;
- Materiais e ferramentas perigosos trancados;
- Guia de primeiros socorros à vista;
- Telefone (e um companheiro) por perto;
- Ferro de soldar aterrado e com um apoio pesado.

Verificação pessoal:

- Óculos de segurança;
- Pulseira antiestática (fixa em você e na terra);
- Sem anéis, relógios de pulso ou joias soltas;
- Roupas de algodão ou lã;
- Mãos secas (ou use luvas);
- Alerta e descansado.

Capítulo 10
Lendo Esquemas

Neste Capítulo:

- Entendendo o papel dos esquemas
- Conhecendo os símbolos mais comuns
- Usando (e não abusando) da polaridade do componente
- Aprofundando-se em alguns componentes especializados
- Divertindo-se com esquemas do mundo todo

Imagine-se dirigindo através do país, sem um mapa rodoviário. Há uma boa chance de você ficar perdido pelo caminho e acabar dirigindo em círculos. Mapas rodoviários existem para ajudar você a encontrar seu caminho. Você pode utilizar um equivalente dos mapas rodoviários, para construir circuitos eletrônicos também. Eles são chamados *diagramas esquemáticos*, e mostram a você como todas as partes dos circuitos são conectadas. Esquemas mostram essas conexões com símbolos, que representam partes eletrônicas, e linhas que mostram como você fixa as partes.

Apesar de nem todo circuito eletrônico que você encontrar ser descrito na forma de um esquema, muitos são. Se você estiver seriamente estudando eletrônica, então (cedo ou tarde) precisará entender como ler um esquema. Surpresa! A linguagem dos esquemas não é tão difícil. A maioria dos diagramas esquemáticos utiliza apenas um pequeno punhado de símbolos para componentes, tais como resistores, capacitores e transistores.

Este capítulo diz tudo o que você realmente precisa saber para ler quase todo diagrama esquemático que encontrar.

O Que É um Esquema e Por Que Eu Deveria Me Importar?

Um *esquema* é um diagrama de circuito que mostra todos os seus componentes, incluindo fontes de energia, e suas conexões. Quando estiver lendo um esquema, a coisa mais importante em que focar são *as conexões*, porque o posicionamento dos componentes em um diagrama esquemático, não necessariamente corresponde ao *layout* físico dos componentes, no circuito construído. Na verdade, para

circuitos complexos, é muito improvável que o *layout* físico do circuito reflita o posicionamento mostrado no esquema. Circuitos complexos, frequentemente, necessitam de diagramas de *layout* separados, algumas vezes chamados de *arte*.

Esquemas usam símbolos para representar resistores, transistores e outros componentes de um circuito, e linhas para mostrar conexões entre os componentes. Ao ler os símbolos e seguir as interconexões, você pode construir o circuito mostrado no esquema. Esquemas também ajudam a entender como um circuito opera, o que vem a calhar, quando você estiver testando ou reparando um circuito.

Descobrir como ler um esquema é um pouco como aprender uma língua estrangeira. No geral, você percebe que a maioria dos esquemas segue convenções bastante padronizadas. Entretanto, assim como muitas linguagens possuem diferentes dialetos, a língua dos esquemas está longe de ser universal. Os esquemas podem variar dependendo da idade do diagrama, seu país de origem, dos caprichos do projetista e de muitos outros fatores.

Este livro usa convenções comumente aceitas na América do Norte. Mas para ajudar você a lidar com variações que possa encontrar, nós incluímos outras convenções, tais como as utilizadas na Europa.

Tendo Uma Visão Geral

Há uma certa regra tácita em eletrônica sobre como orientar partes de um esquema de circuito – especialmente ao desenhar diagramas de circuitos complexos. Baterias e outras fontes de energia são quase sempre orientadas verticalmente, com o terminal positivo no topo. Em esquemas complexos, fontes de energia são divididas entre dois símbolos (como você verá mais tarde), mas o terminal positivo é usualmente mostrado no topo do esquema (algumas vezes se estendendo ao longo de uma linha horizontal, ou *trilha*) e o terminal negativo aparece embaixo (algumas vezes ao longo de uma trilha). Entradas são comumente mostradas na esquerda e saídas na direita.

Muitos sistemas eletrônicos (por exemplo, o receptor de rádio discutido no Capítulo 2) são representados em esquemas por diversos estágios de circuitos (mesmo que o circuito realmente consista de um único e enorme circuito). O esquema para um sistema desses, mostra os subcircuitos para cada estágio, em uma progressão da esquerda para a direita (por exemplo, o subcircuito sintonizador na esquerda, o detector no meio e o amplificador na direita), com a saída do primeiro estágio alimentando a entrada do segundo estágio, e assim por diante. Organizar esquemas dessa maneira ajuda a fazer com que circuitos complexos fiquem mais compreensíveis.

O que importa são as conexões

Em todos os esquemas, simples ou complexos, os componentes são arranjados tão cuidadosamente o quanto possível, e conexões dentro de um circuito são desenhadas como linhas, com quaisquer dobras mostradas como ângulos de 90°. Arcos e linhas sinuosas não são permitidos! É absolutamente difícil entender o que todas as linhas em um esquema significam realmente – e elas não são sempre óbvias.

Quanto mais complexo o esquema, mais provável será o cruzamento de algumas linhas (graças à natureza 2-D dos desenhos esquemáticos). Você precisa saber quando linhas cruzadas representam uma conexão e quando não. O ideal é que um esquema faça a distinção entre fios que se conectam e que não se conectam, da seguinte forma:

- Uma quebra ou um laço (pense nisso como uma ponte) em uma das duas linhas na interseção, indicam fios que *não* devem ser conectados.
- Um ponto na interseção de duas linhas indica que os fios *devem* ser conectados.

Você pode ver algumas variações comuns na Figura 10-1 a seguir.

Este método de mostrar conexões não é universal, então você vai ter que perceber quais fios se conectam e quais não, verificando o estilo de desenho utilizado no esquema. Se você observar uma interseção de duas linhas, sem um ponto positivamente identificando uma conexão real, você não pode se assegurar se os fios devem ser conectados ou não. É melhor consultar a pessoa que desenhou o esquema para determinar como interpretar as linhas que se entrecruzam.

Para implementar fisicamente as conexões mostradas em um esquema, você normalmente usa fios isolados ou finas linhas de cobre em uma placa de circuito. A maioria dos esquemas não faz distinção sobre como conectar os componentes; esta conexão é totalmente dependente de como você escolhe construir o circuito. A representação da fiação no esquema mostra as conexões que devem ser feitas entre os componentes.

Observando um simples circuito com bateria

A Figura 10-2 a seguir mostra um simples circuito DC com uma bateria de 1,5 V, conectada a um resistor rotulado como R1. O lado positivo da bateria (+V) é conectado ao terminal de um lado do resistor; o lado negativo é conectado ao terminal do outro lado do resistor. Com essas conexões feitas, a corrente flui do terminal positivo da bateria, através do resistor, para o terminal negativo.

Figura 10-1: Você pode encontrar um número de variações na forma como o esquema mostra as conexões e não conexões.

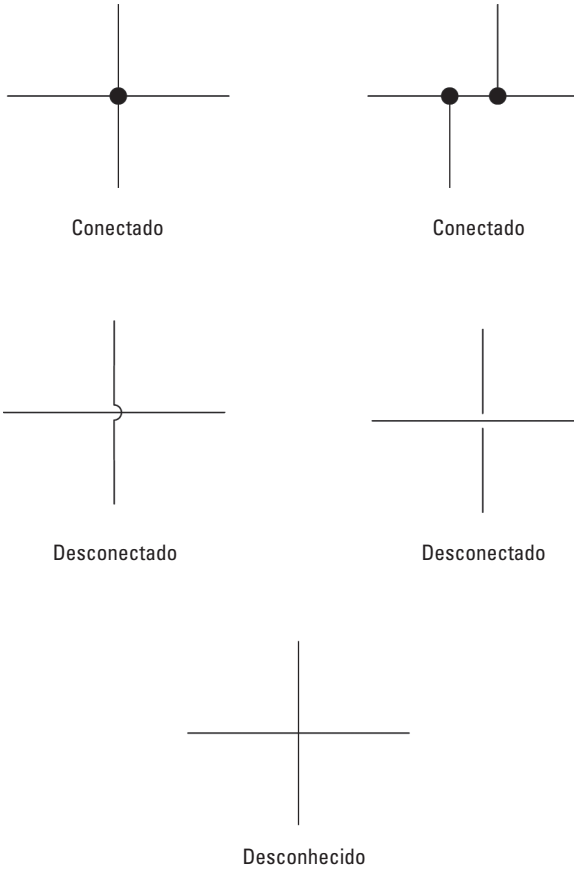
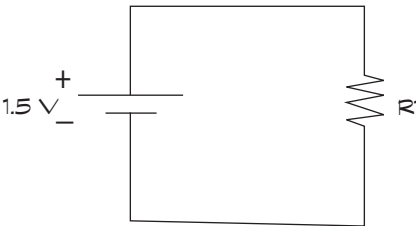



Figura 10-2: Um esquema simples mostra as conexões entre uma bateria e um resistor.

Em esquemas, entende-se por "corrente" como sendo a *convencional*, que é descrita como o fluxo de cargas positivas, viajando em direção oposta àquela do fluxo real de elétrons. Para mais detalhes sobre corrente convencional e fluxo de elétrons, veja o Capítulo 2.

Reconhecendo os Símbolos de Potência

A potência para um circuito pode vir de uma fonte de corrente alternada (AC), tal como a das tomadas de 120 VAC (volts AC) da sua casa ou escritório (também chamada "linha de força"), ou de uma fonte de corrente contínua (DC), tal como uma bateria do lado de baixa voltagem de um transformador de parede. Fontes DC podem ser positivas ou negativas, com relação ao referencial de 0 volt (conhecido como *terra comum*, ou simplesmente *terra*) de um circuito. A Tabela 10-1 mostra vários símbolos utilizados para representar conexões de potência e terra.

Descobrir as várias conexões de potência em um esquema complexo é algumas vezes uma tarefa dura. Esta seção tem por objetivo clarear as coisas um pouquinho. Ao ler o resto desta seção, reveja a Tabela 10-1 para ver os símbolos, na medida em que eles forem sendo discutidos.

Tabela 10-1 Símbolos de Potência e Terra

Nome	*Símbolo*
Bateria (célula)	
Célula solar (fotovoltaica)	
Fonte de potência DC	
Fonte de potência AC	
Terra firme	
Terra nos chassis	
Terra de sinal	

Os símbolos na Tabela 10-1 serão discutidos mais detidamente nas próximas duas subseções.

Mostrando onde está a potência

Fontes de energia DC são mostradas de duas formas:

- **Símbolo de bateria ou célula solar**. Cada um dos símbolos de bateria na Tabela 10-1 representa uma fonte DC com dois terminais. Tecnicamente, o símbolo de bateria que inclui duas linhas paralelas (o primeiro símbolo para "bateria") representa uma única *célula* eletroquímica; o símbolo com múltiplos pares de linhas (o segundo símbolo) representa uma *bateria* (que consiste de múltiplas células).

  Muitos esquemas usam o símbolo de célula para representar bateria.

  Cada símbolo inclui um terminal positivo (indicado pela linha horizontal mais larga) e um negativo. Os símbolos de polaridade (+ e -) e a voltagem nominal são normalmente mostrados perto do símbolo. O terminal negativo é frequentemente suposto no valor em 0 (zero) volt, a menos que seja claramente distinguido como diferente da referência de voltagem zero (conhecido como *terra comum* e detalhado mais tarde, neste capítulo). Quando a bateria é conectada a um circuito completo a corrente convencional flui para fora do terminal positivo e para dentro do terminal negativo.

- **Símbolos "separados" para fonte DC e terra**. Para simplificar o esquema, uma fonte DC é frequentemente mostrada usando dois símbolos separados: um pequeno círculo no fim de uma linha representando um lado da fonte, com ou sem um rótulo específico de voltagem, e o símbolo de terra (linha vertical com três linhas horizontais embaixo) como sendo o outro lado da fonte com um valor de 0 volt. Em circuitos complexos com múltiplas conexões com a fonte, você pode encontrar o lado positivo da fonte representado por uma trilha, no topo do esquema, rotulada como +V. Esses símbolos "separados" que representam fontes de energia, são utilizados para eliminar um monte de conexões (confusas) de fios em um esquema.

O circuito mostrado na Figura 10-2 também pode ser desenhado utilizando-se de símbolos separados para fonte e terra, como na Figura 10-3. Note que o circuito na Figura 10-3 é de fato um circuito completo.

Muitos circuitos DC utilizam múltiplas fontes DC, tais como +5 VDC (volts DC), +12 VDC e mesmo -5 VDC ou -12 VDC, então os símbolos de fonte de voltagem no esquema são normalmente rotulados com a voltagem nominal. Se um esquema não especificar a voltagem, você estará frequentemente (mas não sempre!), lidando com +5 VDC. E lembre-se: A menos que esteja especificada, a voltagem em um esquema é quase sempre DC, *não* AC.

Alguns circuitos (por exemplo, circuitos amp-op, que foram discutidos no Capítulo 7) requerem fontes de energia DC negativa e positiva. Você vai ver frequentemente a fonte positiva representada por um círculo vazio, rotulado +V e a fonte negativa representada por um círculo vazio, rotulado -V. Se as voltagens não forem especificadas, elas podem ser +5 VDC e -5 VDC. A Figura 10-4 mostra como esses pontos de conexão com a fonte de energia são realmente implementados.

Figura 10-3: Este circuito mostra um símbolo de fonte de energia DC no topo e o símbolo de terra embaixo, os quais, juntos, representam conexões com a bateria.

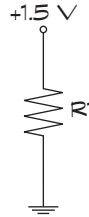
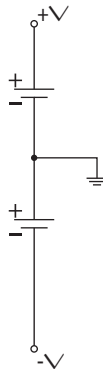



Figura 10-4: Fontes de energia positiva e negativa são requeridas por alguns circuitos.

Uma fonte de energia AC é usualmente representada por um círculo com dois terminais, tanto quanto sem indicadores de forma de onda e polaridade:

- **Círculo contendo forma de onda**: Uma linha sinuosa ou outra forma dentro de um círculo representa um ciclo da voltagem alternada, produzida pela fonte de energia. Usualmente, a fonte é uma onda senoidal, mas pode ser uma onda quadrada, triangular, ou outra coisa.
- **Círculo com polaridade**: Alguns esquemas incluem um ou ambos indicadores de polaridade, dentro ou fora do círculo. Isso é apenas para referência, de forma que você possa relacionar a direção do fluxo de corrente com a direção da variação na voltagem.

A energia para um circuito pode vir de uma fonte AC, tal como a tomada 120 VAC da sua casa ou escritório. Você normalmente usa uma fonte de energia interna para *abaixar* o 120 VAC e convertê-lo para DC. Essa energia

DC de menor voltagem é então entregue aos componentes no seu circuito. Se você estiver procurando por esquema para um aparelho de DVD ou outra coisa que obtenha energia da tomada da parede, esse esquema provavelmente mostrará, tanto fontes AC quanto DC.

Marcando o terra

Pronto para alguma confusão em esquemas de eletrônica? Ao rotular conexões com o terra em esquemas, é uma prática comum usar o símbolo para *terra firme* (que é a real conexão com a terra) para representar o *terra comum* (o ponto de referência para 0 volt) em um circuito. O Capítulo 2 detalha estes dois tipos de terra. Com mais frequência os pontos "terra" em circuitos de baixa voltagem não são realmente conectados à terra; em vez disso, eles são apenas conectados uns aos outros – daí o termo *terra comum* (ou simplesmente *comum*). Quaisquer voltagens mostradas em pontos específicos em um circuito são relativas a esse terra comum. Lembre-se: voltagem é realmente uma medida diferencial entre dois pontos em um circuito.

Então, que símbolo *realmente* deveria ser utilizado para pontos de terra que não estejam conectados à terra? É o símbolo chamado *terra de chassis*. O terra comum é, algumas vezes, chamado de *terra de chassis,* porque em equipamentos antigos, o chassis metálico do dispositivo (televisão, aparelho de som etc.) servia como a conexão de terra comum. Utilizar chassis de metal para uma conexão terra não é mais tão comum, mas ainda utilizamos o termo.

Você também pode ver o símbolo para *terra de sinal* utilizado para representar o ponto de referência de zero volt em sinais (formas de onda carregando informações, discutidas no Capítulo 2) carregados por dois fios. Um fio é conectado neste ponto de referência e um outro carrega a voltagem variante, representando o sinal. Mais uma vez, em muitos esquemas, o símbolo para terra firme é utilizado no lugar.

Neste livro, nós usamos o símbolo de esquema para terra firme, porque a maioria dos esquemas que você vê atualmente usa esse símbolo.

Como você pode ver na Figura 10-5 a seguir, um esquema pode mostrar a conexão terra, de diversas maneiras:

- **Nenhum símbolo de terra**: O esquema pode mostrar dois fios de potência conectados ao circuito. Em um circuito energizado por bateria, o terra comum é assumido como sendo o terminal negativo da bateria.
- **Um símbolo de terra**: O esquema mostra todas as conexões conectadas com terra em um único ponto. Ele frequentemente não mostra a fonte, ou fontes, de energia (por exemplo, a bateria), mas você deve assumir que o terra conecta-se ao terminal positivo ou negativo das fontes de energia DC (como mostrado na Figura 10-4).

- **Múltiplos símbolos de terra**: Em esquemas mais complexos, é usualmente mais fácil desenhar o circuito com diversos pontos de terra. No circuito de verdade, todos esses pontos de terra conectam-se.

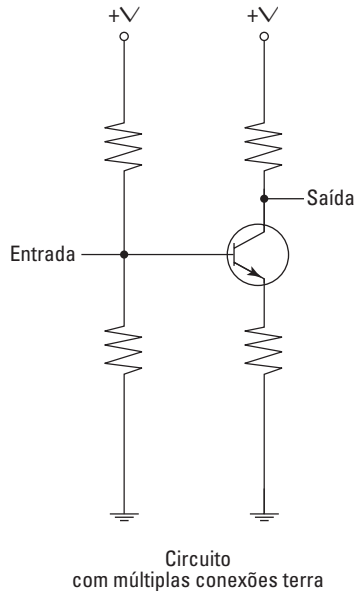
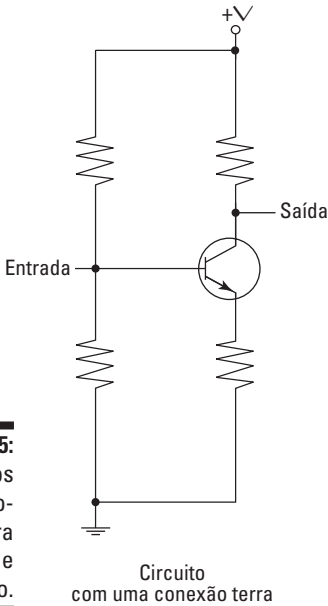
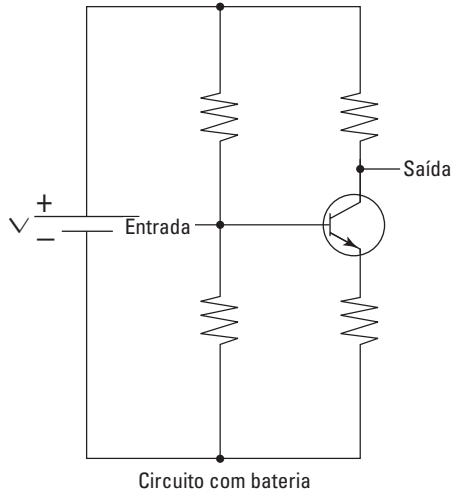



Figura 10-5: Símbolos para a conexão terra comum de um circuito.

Rotulando Componentes de Circuito

Você pode literalmente encontrar centenas de símbolos para componentes eletrônicos por aí, já que existem centenas de componentes para serem simbolizados. Por sorte, você provavelmente encontrará apenas um pequeno número de símbolos em esquemas, para projetos de eletrônica de *hobby*.

Juntamente com símbolos de circuito para componentes eletrônicos particulares, você pode ver informação adicional que ajuda a identificar univocamente a parte:

- **ID de referência**: Um identificador, tal como R1 ou Q3. A convenção é usar uma ou mais letras para representar o tipo de componente, e um sufixo numérico para distinguir um componente particular dos outros do mesmo tipo. Os designadores mais comuns são R para resistor, C para capacitor, D para diodo, L para indutor, T para transformador, Q para transistor e U ou IC para circuitos integrados.
- **Número da parte**: Usado quando o componente for padronizado (como com transistores ou circuitos integrados) ou se você tiver uma parte de algum fabricante. Por exemplo, um número de parte pode ser algo como 2N2222 (é um transistor usado comumente) ou 555 (um tipo de CI usado em aplicações com tempo).
- **Valor**: Valores de componentes são algumas vezes mostrados para partes passivas, como resistores e capacitores, que não usam números de parte convencionais. Por exemplo, quando indicar um resistor, o valor (em ohms) poderá ser marcado do lado do símbolo do resistor ou do ID de referência. Mais frequentemente, você vai ver o valor sem a unidade de medida (ohms, microfarads e por aí vai). Normalmente, valores de resistores são assumidos como estando em ohms e valores de capacitores são assumidos como estando em microfarads.
- **Informação adicional**: Um esquema pode incluir especificidades adicionais sobre um ou mais componentes, tal como os watts de potência para um resistor quando não for o típico valor de ¼ ou ⅛ watt. Se você vir "10W" perto de um valor de resistor, saberá que precisa de um resistor de potência.

Muitos esquemas mostram apenas o ID de referência e o símbolo de circuito para cada componente, e então, incluem uma *lista de partes,* separada para providenciar os detalhes de números da parte, valores e outras informações. A lista de partes mapeia o ID de referência, para uma informação específica sobre cada componente.

Componentes eletrônicos analógicos

Componentes analógicos controlam o fluxo de sinais elétricos contínuos (analógicos). A Tabela 10-2 mostra os símbolos de circuito utilizados para componentes eletrônicos analógicos básicos. A terceira coluna da tabela fornece a referência do capítulo deste livro, onde você pode encontrar informações detalhadas sobre a funcionalidade de cada componente.

Introdução aos IDs de referência

Componentes são frequentemente identificados em um esquema, utilizando um tipo de designador alfabético, tal como C para capacitor, seguido por um identificador numérico (1, 2, 3 e por aí vai) para distinguir múltiplos componentes do mesmo tipo. Juntos, esses identificadores formam um *ID de referência*, que identifica universalmente um capacitor específico ou outro componente. Se o valor não estiver impresso ao lado do símbolo do componente, não se preocupe; você pode encontrar o ID de referência em uma lista de partes para indicar o valor preciso do componente a ser utilizado. Os seguintes tipos de designadores estão entre os mais comumente utilizados:

- C Capacitor
- D Diodo
- IC (ou U) Circuito integrado ou CI
- L Bobina
- LED Diodo emitindo Luz
- Q Transistor
- R Resistor
- RLY Relay
- T Transformador

Tabela 10-2 Símbolos para Componentes Analógicos

Componente	*Símbolo*	*Capítulo de Referência*
Resistor		Capítulo 3
Resistor variável (potenciômetro)		Capítulo 3
Fotorresistores (fotocélula)		Capítulo 8
Capacitor		Capítulo 4
Capacitor polarizado	+	Capítulo 4
Capacitor variável		Capítulo 4
Indutor		Capítulo 5
Transformador com núcleo de ar		Capítulo 5

(continua)

Tabela 10-2 *(continuação)*

Componente	*Símbolo*	*Capítulo de Referência*
Transformador com núcleo sólido		Capítulo 5
Cristal		Capítulo 5
Transistor (bipolar) NPN		Capítulo 6
Transistor (bipolar) PNP		Capítulo 6
MOSFET canal-N		Capítulo 6
MOSFET canal-P		Capítulo 6
Fototransistor (NPN)		Capítulo 8
Fototransistor (PNP)		Capítulo 8
Diodo padrão		Capítulo 6
Diodo Zener		Capítulo 6
Diodo emissor de luz (LED)		Capítulo 6
Fotodiodo		Capítulo 8
Amplificador operacional (amp-op)		Capítulo 7

O símbolo de circuito para um amp-op representa a interconexão de dúzias de componentes individuais, em um circuito quase completo (energia é externa ao amp-op). O esquema sempre usa um único símbolo para representar o circuito inteiro, que é pré-embalado como um circuito integrado (CI). O símbolo de circuito para um amp-op é comumente usado para representar muitos outros amplificadores, tal como o amplificador de potência para áudio LM386 utilizado no Capítulo 15.

Componentes CI e de lógica digital

Componentes de eletrônica digital – tais como portas lógicas – manipulam sinais digitais que consistem de apenas dois níveis possíveis de voltagem (alto ou baixo). Dentro de cada componente digital há um circuito quase completo (energia é externa), consistindo de transistores individuais ou outros componentes analógicos. Símbolos de circuito para componentes digitais representam a interconexão de diversos componentes individuais, que fazem a lógica do circuito. Você pode construir a lógica do zero ou obtê-la na forma de um circuito integrado. CIs lógicos usualmente contêm diversas portas (não necessariamente do mesmo tipo), dividindo uma mesma conexão de energia.

A Tabela 10-3 mostra os símbolos de circuitos para portas lógicas individuais. Você pode encontrar informação detalhada sobre a funcionalidade de cada porta lógica no Capítulo 7.

Tabela 10-3 Símbolos para Portas Lógicas

Nome	*Símbolo*
AND	
NAND	
OR	
NOR	
XOR	
XNOR	
Inversor (NOT)	

Alguns esquemas mostram portas lógicas individuais; outros mostram conexões ao circuito integrado completo, representado por um retângulo. Você pode ver um exemplo dessa abordagem na Figura 10-6. O CI 74HC00 mostrado na Figura 10-6 é um CMOS de quatro portas NAND e duas entradas. No topo do circuito, cada porta NAND é rotulada com

"¼ 74HC00" por ser uma das quatro portas NAND no CI. Esse tipo de rotulagem de porta é comum em esquemas de circuitos digitais. Note que a quarta porta NAND não é utilizada neste circuito particular (que é o motivo porque os pinos 11, 12 e 13 não são usados). Quer o esquema use o pacote CI inteiro ou portas individuais, ele usualmente anota as conexões externas de energia. Se não fizer, você deve olhar a pinagem do dispositivo na folha de dados, para determinar como conectar a energia. Para mais informações sobre pinagens e folhas de dados, veja o Capítulo 7.

Você irá encontrar muitos outros mais CIs digitais do que aqueles contendo apenas portas lógicas. Também encontrará CIs lineares (analógicos) que contêm circuitos analógicos e CIs mistos, com uma combinação de circuitos analógicos e digitais. A maioria dos CIs – com exceção dos amp-ops – são mostrados da mesma maneira nos esquemas: como um retângulo, rotulado com um ID de referência (tal como IC1) ou o número da parte (tal como 74HC00), com as conexões dos pinos numeradas. A função do CI é normalmente determinada olhando-se o número da peça, mas o esquema ocasional pode incluir um rótulo funcional como "disparo único".

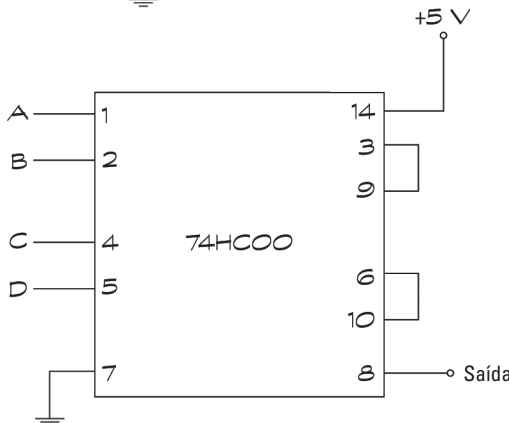
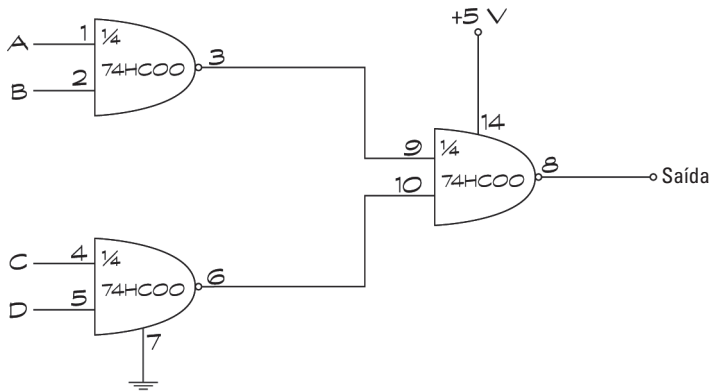
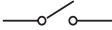
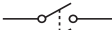
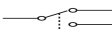
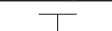
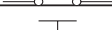
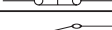



Figura 10-6: Duas diferentes representações esquemáticas do mesmo circuito.

Componentes diversos

A Tabela 10-4 lista os símbolos para interruptores e reles. Volte ao Capítulo 8 para informações detalhadas sobre cada um desses componentes.

Tabela 10-4 Símbolos para Interruptores e Relés

Nome	*Símbolo*
Interruptor SPST	
Interruptor SPDT	
Interruptor DPST	
Interruptor DPDT	
Interruptor, normalmente aberto	
Interruptor, normalmente fechado	
Rele	

A Tabela 10-5 lista os símbolos para vários transdutores de entrada (sensores) e de saída. Alguns desses símbolos possuem referência cruzada na Tabela 10-2. Você pode ler mais sobre a maioria desses componentes no Capítulo 8, e também sobre LEDs no Capítulo 6.

Tabela 10-5 Símbolos para Transdutores de Entrada e Saída

Nome	*Símbolo*
Microfone	
Termistor	
Fotorresistores (fotocélula)	

(continua)

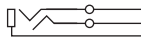
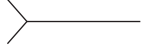



Tabela 10-5 (continuação)

Fotodiodo	
Fototransistor (NPN)	
Fototransistor (PNP)	
Antena	
Lâmpada incandescente	
Diodo emissor de luz (LED)	
Alto-falante	
Campainha piezoelétrica	

Alguns circuitos aceitam entradas e enviam saídas para outros circuitos ou dispositivos. Esquemas frequentemente mostram o que parece ser um fio solto, entrando ou saindo do circuito. Usualmente ele está rotulado com algo como “sinal de entrada” ou “entrada vinda de treco #1”, ou “saída” de forma que você saiba que deverá conectar alguma coisa ali. Você conecta um fio do sinal nesse ponto de entrada, e o outro ao terra de sinal. Outros esquemas podem mostrar um símbolo para um conector específico, tal como um par *plugue* e *soquete*, que conecta o sinal de saída de um dispositivo à entrada do outro. O Capítulo 8 fornece uma olhada mais aprofundada.

A Tabela 10-6 mostra algumas das maneiras como as conexões de entrada e saída de outros circuitos são mostradas em esquemas. Os símbolos para conexões de entrada/saída podem variar grandemente entre esquemas. Os símbolos utilizados neste livro estão entre os mais comuns. Apesar do estilo exato do símbolo, poderá haver uma variação de um esquema para o próximo, mas a ideia é a mesma: diz a você para fazer a conexão com algo externo ao circuito.

Tabela 10-6 Símbolos para Conexões com Outros Circuitos

Nome	*Símbolo*
Plugue e soquete	
Soquete blindado	
Entrada não especificada	
Saída não especificada	

Sabendo Onde Tomar as Medidas

Você poderá vir a encontrar um esquema ou dois que incluam símbolos para instrumentos de teste, tais como um voltímetro (que mede voltagem), um amperímetro (que mede corrente) ou um ohmímetro (que mede resistência). Como o Capítulo 12 explica, um multímetro multifuncional pode trabalhar como qualquer um desses medidores – e mais. Você usualmente vê esses símbolos em esquemas de *sites* educacionais ou em documentos projetados para funções educacionais. Eles apontam exatamente onde colocar os terminais do medidor, de forma a tomar as medidas apropriadas.

Quando você vir um dos símbolos mostrados na Tabela 10-7 em um esquema, lembre-se que ele representa um instrumento de teste – não algum "vulcanistor" ou outro componente eletrônico que nunca ouviu falar anteriormente.

Tabela 10-7 Símbolos para Instrumentos de Teste Comuns

Nome	*Símbolo*
Voltímetro	V
Amperímetro	A
Ohmímetro	Ω

Explorando um Esquema

Agora que você está familiarizado com o ABC dos esquemas, é hora de botar tudo isso junto e ver atentamente cada parte de um simples esquema. O esquema mostrado na Figura 10-7 mostra o circuito de piscador de LED usado no Capítulo 15. Este circuito controla o piscar de um LED, com a taxa de piscagem controlada pelo girar do botão de um potenciômetro (resistor variável).

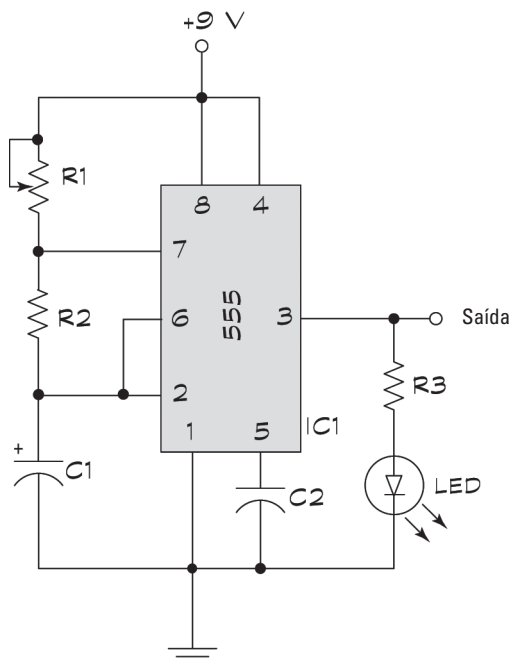



Figura 10-7: O esquema e a lista de partes utilizadas para o projeto de piscagem de luz do Capítulo 15.

Legenda:

IC1: LM555 Timer IC
R1: 1 M Ω potenciômetro
R2: 47 K Ω de resistência
R3: 330 Ω de resistência
C1: 1 μF do capacitor de tântalo
C2: 9.1 μF disco capacitor
LED: Light-emitting diode (Diodo Emissor de Luz)

Aqui está o que o esquema diz:

- No coração do esquema está o **IC1**, um **CI timer 555 de 8-pinos**, com todos os oito pinos conectando-se com partes do circuito. Os pinos 2 e 6 estão conectados juntos.
- O circuito é alimentado por uma fonte de energia de 9 volts, que pode ser uma **bateria de 9 V.**
    - O terminal positivo da fonte de energia está conectado aos pinos 4 e 8 do IC1, a um dos terminais fixos e ao contador variável (wiper) do R1, que é um resistor variável (potenciômetro).
    - O terminal negativo da fonte de energia (mostrado como a conexão terra comum) está conectado ao pino 1 do IC1, ao lado negativo do capacitor C1, ao capacitor C2 e ao cátodo (lado negativo) do LED.
- **R1 é um potenciômetro** com um terminal fixo, conectado ao pino 7 do IC1 a ao resistor R2, e ambos, um outro terminal fixo e o wiper, conectados ao terminal positivo da bateria (e aos pinos 4 e 8 do IC1).
- **R2 é um resistor fixo** com um terminal conectado ao pino 7 do IC1 e a um terminal fixo do R1 e um outro terminal conectado aos pinos 2 e 6 do IC1 e ao lado positivo do capacitor C1.
- **C1 é um capacitor polarizado**. Seu lado positivo está conectado ao R2 e aos pinos 2 e 6 do IC1, e seu lado negativo está conectado ao terminal negativo da bateria (assim como ao pino 1 do IC1, ao capacitor C2 e ao cátodo do LED).
- **C2 é um capacitor não polarizado** conectado, de um lado ao pino 5 do IC1 e do outro ao terminal negativo da bateria (assim como ao lado negativo do capacitor C1, ao pino 1 do IC1 e ao cátodo do LED).
- O ânodo do **LED** está conectado ao resistor R3 e o cátodo do LED está conectado ao terminal negativo da bateria (assim como ao lado negativo do capacitor C1, ao capacitor C2 e ao pino 1 do IC1).
- **R3 é um resistor fixo** conectado entre o pino 3 do IC1 e o ânodo do LED.
- E finalmente, a **saída** mostrada no pino 3 pode ser usada como fonte de sinal (entrada) para outro estágio do circuito.

Cada item nessa lista de detalhamento apenas tem o foco em um componente do circuito e suas conexões. Apesar de mencionar a mesma conexão diversas vezes, é consistente com boas práticas; vale a pena verificar muitas vezes as conexões do seu circuito, para certificar-se de que *cada terminal ou pino de cada componente individual* esteja conectado corretamente. Já ouviu a regra geral “Meça duas vezes, corte uma”? Bem, o mesmo princípio aplica-se aqui. Você não pode deixar de ser muito cuidadoso ao conectar componentes eletrônicos.

Estilos de Desenho de Circuitos Alternativos

Os símbolos de esquema deste capítulo pertencem ao estilo de desenho utilizado na América do Norte (particularmente nos Estados Unidos) e no Japão. Alguns países – notadamente nações da Europa, assim como a Austrália, usam símbolos de esquema um pouco diferentes. Se você estiver utilizando um esquema para um circuito não desenhado nos Estados Unidos ou no Japão, precisará fazer um pouco de tradução de esquema para conseguir todos os componentes.

A Figura 10-8 mostra alguns dos símbolos de esquema, comumente utilizados no Reino Unido e em outras nações da Europa. Note que há algumas diferenças óbvias no símbolo de resistor, tanto fixo como variável.

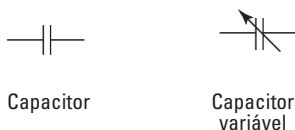



Figura 10-8: Símbolos de esquema utilizados para circuitos projetados na Europa.

Esse estilo organiza os símbolos de forma diferente do estilo americano. Nos Estados Unidos, você expressa os valores de resistência acima de 1.000 Ω na forma 6,8k ou 10,2k, com o *k* minúsculo seguindo-se ao valor. O estilo europeu de esquema elimina a vírgula decimal. Os esquemas que normalmente você encontra no Reino Unido são valores de resistores expressos na forma 6k8 ou 10k2. Esse estilo usa o *k* minúsculo (que significa *kilohms*, ou milhares de ohms) no lugar da vírgula decimal.

Você poderá encontrar algumas outras variações no estilo de desenho de esquemas, mas todos são bastante autoexplicativos e as diferenças não são substanciais. Depois que aprender como usar um estilo de desenho, os outros virão com relativa facilidade.

Capítulo 11

Construindo Circuitos

Neste Capítulo:

- Sondando as profundezas de uma *protoboard* sem solda
- Criando um circuito rápido e fácil com uma *protoboard*
- Soldando – em segurança – como os profissionais
- Admitindo e consertando erros de solda (como os profissionais)
- Solidificando seu circuito com uma *protoboard* para solda ou uma *perf board* (placa perfurada)
- Alcançando o nirvana da criação de circuitos: sua própria placa de circuitos impressa personalizada (PCB)

Você cuidadosamente montou sua bancada, estrategicamente posicionou seus novos brinquedinhos brilhantes – ops! queríamos dizer *ferramentas* – para impressionar seus amigos, pesquisou para encontrar o melhor negócio em resistores e outros componentes e agora você está pronto para mergulhar de cabeça e construir alguns circuitos piscantes e barulhentos. Então, como você transforma um diagrama de circuito bidimensional em um circuito eletrônico real, vivo e *funcionando* (talvez até se movendo)?

Neste capítulo, mostraremos a você as várias maneiras de conectar componentes eletrônicos, em circuitos que façam os elétrons se moverem ao seu comando. Primeiro, descreveremos como fazer circuitos flexíveis e temporários utilizando uma *protoboard* de encaixar, que é a plataforma ideal para testar e ajustar seus projetos. Em seguida, daremos o básico sobre como fundir componentes de maneira segura, utilizando uma substância fundida e tóxica chamada solda (que divertido!). Finalmente, as linhas gerais das suas opções para criar circuitos permanentes, técnicas de soldagem e/ou *wire-wrapping*, acoplada com um sortimento das mais populares placas de circuitos atuais.

Arme-se com chaves de fenda, alicates e ferro de soldar, e ponha seus óculos de segurança e sua pulseira antiestática. Você está prestes a entrar na zona de construção de eletrônicos!

Dando uma Olhada nas Protoboards sem Solda

Protoboards sem solda, também chamadas de *placas de prototipação* ou *protoboards de circuito,* fazem com que construir (ou desmontar) circuitos temporários seja muito fácil. Essas placas retangulares de plásticos reutilizáveis, contêm centenas de soquetes quadrados, ou *buracos de contato*, nos quais você pluga seus componentes (por exemplo, resistores, capacitores, diodos, transistores e circuitos integrados). Grupos de buracos de contato são eletricamente conectados por tiras flexíveis de metal, abaixo da superfície. Você insere um terminal ou fio no buraco e ele faz contato com o metal que está embaixo. Ao plugar os componentes de maneira correta e colocar fios, indo da sua *protoboard* até a fonte de energia, você pode construir um circuito funcional sem ter que ligar os componentes de forma permanente.

Recomendamos, fortemente, que utilize uma (ou duas) *protoboard* quando, primeiro, construir um circuito. Dessa maneira, você pode testar o circuito para ter certeza de que ele funcionará apropriadamente e, então, fazer quaisquer ajustes necessários. Frequentemente você pode melhorar a *performance* de um circuito, apenas ajustando alguns valores de componentes. Você pode facilmente fazer essas mudanças, apenas removendo um componente e inserindo outro na placa – sem ter que remover uma solda e ressoldar. Para os detalhes sobre soldagem, vá para a seção "Soldando Um a Um" mais à frente, neste capítulo. Quando você estiver certo de que seu circuito funciona da maneira que deseja, poderá criar um circuito permanente em outros tipos de placas (como descrito na seção "Estabelecendo um Compromisso: Criando um Circuito Permanente", mais à frente, neste capítulo).

Protoboards sem solda são projetadas para circuitos DC de baixa voltagem. Nunca use uma *protoboard* para uma corrente de 120 VAC de casa. Corrente ou voltagem excessivas podem fundir o plástico ou causar centelhamento entre os contatos – arruinando a *protoboard* e, possivelmente, expondo você a correntes perigosas.

Explorando uma *protoboard* sem solda, por dentro e por fora

A foto na Figura 11-1 mostra uma *protoboard* sem solda básica, com linhas brancas adicionadas, para ajudar você a visualizar as conexões internas entre os buracos de contato. No centro da placa, os buracos são ligados verticalmente em blocos de cinco (por exemplo, A, B, C, D e E na coluna 30 estão todos ligados juntos, e F, G, H, I e J na coluna 30 estão todos conectados juntos). Não há conexões na abertura central entre as linhas E e F. Você pode colocar um circuito integrado (CI) nessa posição e, instantaneamente, conseguir conjuntos independentes de conexões, para cada um de seus pinos.

Ao longo da parte de cima e de baixo da *protoboard*, os buracos estão ligados horizontalmente, mas você não tem como dizer quantos buracos

estão conectados, apenas olhando a placa. Para a placa de 400-buracos na Figura 11-1, todos os 25 contatos em cada linha, ao longo da parte de cima e de baixo, estão eletricamente conectados. Em muitas *protoboards* grandes – como a placa de 840-buracos mostrada na Figura 11-2 – há uma quebra na conexão na metade de cada linha. Nós colocamos pequenos fios conectores entre contatos vizinhos, para criar uma conexão de 50 pontos em cada linha. Em algumas placas, as duas linhas ao longo do topo são eletricamente conectadas, assim como são as duas linhas na parte de baixo.

Você pode usar um multímetro para verificar se dois pontos dentro de uma linha – ou entre linhas – são eletricamente conectados. Coloque um fio conector em cada buraco, e então toque uma das pontas do multímetro em um fio e a outra no outro fio. Se você obtiver uma baixa leitura de ohms, saberá que os dois pontos estão conectados. Se obtiver uma leitura de ohms infinita, saberá que não estão conectados. Veja o Capítulo 12 para testar coisas com seu multímetro.

Os buracos têm um espaçamento de $^1/_{10}$ de polegada (0,1 polegada), um tamanho certo para os CIs, a maioria dos transistores e componentes discretos, tais como capacitores e resistores. Você apenas pluga CIs, resistores, capacitores, transistores e um fio sólido de gauge 20 ou 22 nos buracos de contato, apropriados para criar seu circuito. Tipicamente, você utiliza as duas seções centrais da placa para fazer conexões entre componentes; use as seções de cima e de baixo na placa para conectar a energia.

Fabricantes de *protoboards* fazem as tiras de contato com um metal flexível, coberto com uma fina camada de material não oxidante. O material não oxidante previne os contatos de se oxidarem e a flexibilidade do metal permite que você use fios terminais de componentes de diferentes diâmetros, sem deformar seriamente os contatos. Note, entretanto, que você pode danificar os contatos se tentar usar um fio maior do que gauge 20 ou usar componentes com terminais muito grossos. Se o fio for muito grosso para entrar no buraco, não tente forçar. Se você forçar, pode afrouxar o encaixe do contato e sua *protoboard* não funcionará mais do jeito que você quer.

Quando você não estiver usando, guarde sua *protoboard* em um saco selável. Por quê? Para mantê-la livre de pó. Contatos sujos fazem conexões elétricas ruins. Apesar de poder usar um limpador em *spray*, para remover a sujeira e outros contaminantes, você tornará a situação mais simples se mantiver a *protoboard* limpa, em primeiro lugar.

Vendo o tamanho das variedades de protoboards sem solda

Protoboards sem solda vêm em diferentes tamanhos. *Protoboards* menores (de 400 até 550 buracos) acomodam projetos de até uns três ou quatro CIs, mais um pequeno punhado de outros discretos componentes. Placas maiores, como a de 840 buracos mostrada na Figura 11-2, fornecem mais flexibilidade e acomodam cinco ou mais CIs. Se estiver às voltas com projetos realmente elaborados, você pode comprar *protoboards* extralargas variando de 1.660, a mais de 3.200 buracos de contato. Essas placas podem lidar com até três dúzias de CIs, além de outros componentes discretos.

Figura 11-1: *Protoboards* sem solda consiste em uma matriz de buracos de contato, que são eletricamente conectados em pequenos grupos, embaixo da superfície.

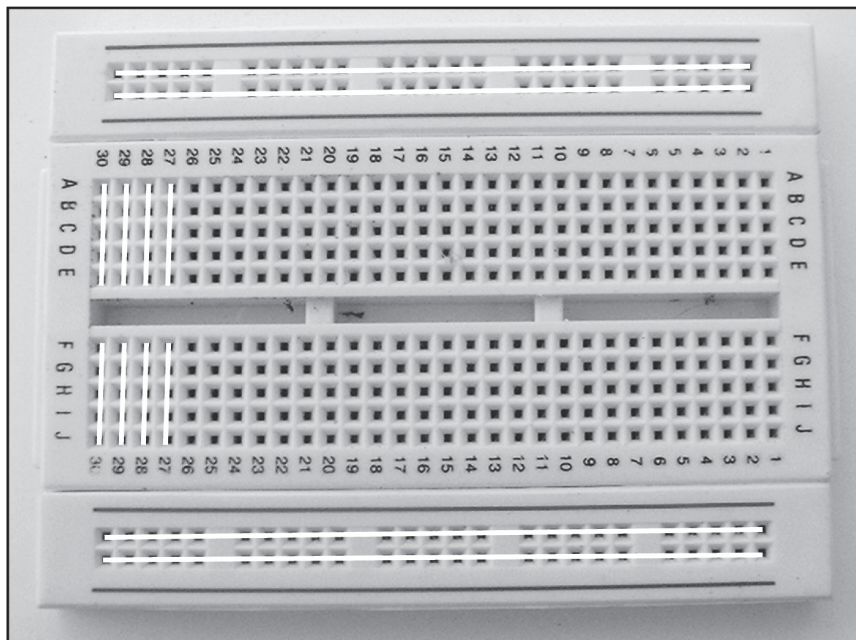
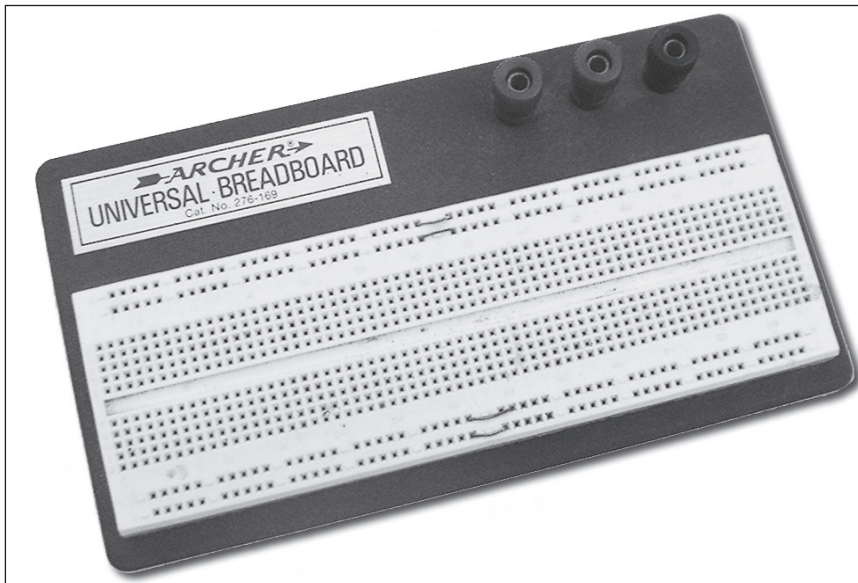



Figura 11-2: Para circuitos maiores você pode usar *protoboards* sem soldas, também maiores, como essa placa de 840 buracos.

Não exagere quando for comprar a *protoboard*. Você não precisa de uma *protoboard* do tamanho do Pará se estiver apenas fazendo circuitos de pequeno e médio porte, tais como os que mostraremos a você no Capítulo 15. E se estiver no meio de um projeto de circuito e perceber que precisa de um pouco mais de área de *protoboard*, você pode sempre fazer conexões entre duas *protoboards*. Algumas *protoboards* sem solda têm pontes de ligação, que lhe permitem colocar diversas juntas, para criar uma *protoboard* maior.

Construindo Circuitos com Protoboards sem Solda

Essencialmente, o uso da *protoboard* consiste em colocar componentes e conectar a energia na placa e fazer conexões com fios. Mas há uma forma certa e uma errada de fazer essas coisas. Esta seção dá a você o básico sobre que tipo de fio usar, técnicas eficientes de uso de *protoboard* e como dar à sua placa um *design* adequado e lógico.

Preparando suas partes e ferramentas

Antes de começar, de espetar aleatoriamente as coisas na sua *protoboard*, você deveria certificar-se de que tem tudo o que precisa. Verifique a lista de partes – a lista dos ingredientes eletrônicos que você necessita para construir seu circuito – e ponha ao lado os componentes que você precisa. Pegue as ferramentas essenciais, tais como alicates de bico fino, cortadores de fios e descascador de fios. Tenha certeza de que todos os terminais dos seus componentes são compatíveis, para serem inseridos nos buracos da *protoboard*. Corte os terminais longos, se possível, de forma que os componentes fiquem rentes à placa. Não se preocupe se não puder reutilizá-los para outro circuito – eles são baratos. Alguns componentes, tais como os potenciômetros, podem não ter terminais, então você vai ter que soldar fios nele (veja a seção "Soldando Um a Um", neste capítulo, para ver como fazer isso). Familiarize-se com a polaridade das partes, o que são os terminais nos transistores, potenciômetros e CIs. E, finalmente, tenha os fios de interconexão prontos, como descrito nesta próxima seção.

Poupando tempo com fios pré-descascados

Muitas das conexões entre componentes na sua *protoboard* são feitas pela própria *protoboard*, embaixo da superfície, mas quando não puder fazer uma conexão direta pela placa, você usará fios de interconexão (algumas vezes chamados de *fios jumpers*). Utilizará fios isolados sólidos (não *stranded*) de gauge 20 a 22 para conectar os componentes na *protoboard*. Fios mais grossos ou mais finos não funcionam bem na *protoboard*: se for muito grosso, o fio não entrará nos buracos; se for muito fino, o contato elétrico será ruim.

Não use fio *stranded* numa *protoboard*. Os fiapos individuais podem quebrar, se escondendo dentro dos contatos de metal da *protoboard*.

DICA

Ao comprar uma *protoboard*, compre também um conjunto de fios jumpers pré-descascados, como sugerimos no Capítulo 9. Não seja pão duro; eles valem o dinheiro. Fios pré-descascados vêm em uma grande variedade de tamanhos e já estão (obviamente) descascados e torcidos, prontos para o uso na *protoboard*. Por exemplo, um conjunto popular contém 10 de cada de 14 tamanhos diferentes de fios, variando de $^1/_{10}$ de polegada até 5 polegadas. Um conjunto de 140 a 350 fios pré-descascados pode custar caro, mas pode apostar que o preço vale o tempo que eles economizam. A alternativa é comprar uma grande quantidade de fios, cortar segmentos de diversos tamanhos e, pacientemente, descascá-los em torno de ¼ de polegada de cada lado.

Mesmo que compre um grande conjunto de fios pré-descascados, vai chegar o momento em que você tenha que fazer um fio de interconexão ou dois. Comece com um fio de gauge 20 ou 22 (ou um fio pré-descascado longo, que você queira cortar em pedaços menores), e corte-o no tamanho desejado. Se tiver um descascador de fio com um seletor de medida, coloque o cortador na medida do fio que você estiver usando. Outros descascadores de fios podem ter diversas bocas de corte rotuladas para os vários tamanhos. Usar um desses descascadores de fio mais específicos em vez de um genérico previne você de dar um talho no fio quando o estiver descascando. Estes talhos enfraquecem o fio, e um fio fraco pode ficar preso dentro do buraco de uma *protoboard* e estragar o seu dia.

Para fazer seus próprios fios de *protoboard*, siga os seguintes passos:

1. **Corte o fio no comprimento que você precisa, usando uma ferramenta de cortar fios**.
2. **Descasque uns $^1/_4$ ou $^1/_3$ de polegada de isolamento de cada lado.**

   Se usar uma ferramenta específica, insira uma das pontas do fio na ferramenta, segure a outra com um alicate de bico fino e puxe o fio com cuidado. Se estiver usando um descascador genérico, você faz o controle da medida, dependendo do quanto você aperta a ferramenta ao redor do fio: aperte demais e você vai dar um talho no fio; aperte de menos e você não vai cortar o isolamento.
3. **Dobre as partes expostas do fio em um ângulo reto (90°).** Você pode usar a pinça para fazer isso.

O layout do seu circuito

Você está com suas partes e ferramentas prontas, o esquema (o diagrama do circuito) na mão e agora, quer construir seu circuito na sua protoboard. Mas, por onde começar? Qual a melhor maneira de conectar tudo?

Bem-vindo ao mundo do *layout* de circuitos – descobrir onde tudo deve ficar na placa, de maneira que se encaixe, fique certo, organizado e livre de erros. Não espere que o *layout* do seu circuito se pareça exatamente com seu esquema – isso não apenas é difícil de fazer, como usualmente não dá para fazer. Você pode, entretanto, orientar seus elementos-chave do circuito, de forma que seu circuito seja fácil de entender e depurar.

Quando estiver construindo um circuito em uma *protoboard*, concentre-se na *conexão entre os componentes*, em vez de concentrar-se na posição dos componentes no esquema.

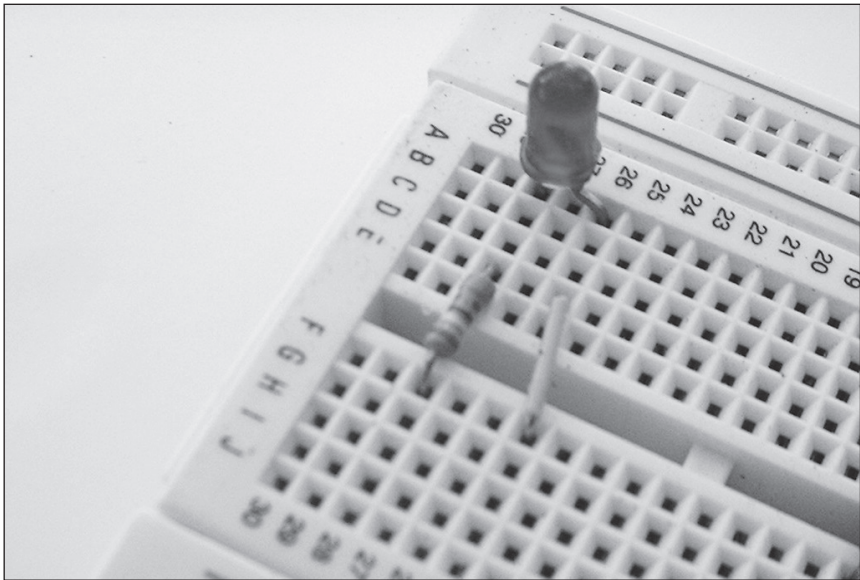
Aqui estão algumas linhas gerais para construir seu circuito na protoboard:

- **Use uma das trilhas (linhas longas) de cima para a fonte de energia positiva, e uma das de baixo para o terra (e para a fonte de energia negativa, se houver uma).** Essas trilhas dão a você muitos soquetes interconectados, para que possa facilmente conectar componentes na energia e na terra.
- **Oriente quaisquer entradas para o lado esquerdo da placa e saídas para o lado direito.** Planeje o *layout* dos componentes, para minimizar o número de fios jumper. Quanto mais fios você tiver que inserir, mais cheia e confusa a *protoboard* se tornará.
- **Coloque os CIs primeiro, montando-os no vão central.** Deixe pelo menos três – preferencialmente dez – colunas de buracos entre os CIs. Você pode usar uma ferramenta insersora/extratora de chips para implantar e remover os CIs, deduzindo, assim, as chances de danificar o CI ao manuseá-lo.

  Se estiver trabalhando com chips CMOS, certifique-se de aterrar a ferramenta, para eliminar a eletricidade estática.
- **Trabalhe em cada CI, começando do pino 1, inserindo os componentes que conectam com cada pino. Então insira os componentes adicionais, para completar o circuito.** Use um alicate de bico fino para torcer os terminais em um ângulo de 90° graus e insira-os nos soquetes, mantendo os fios e os terminais o mais próximo possível da placa, para prevenir que eles sejam afrouxados por alguma coisa.
- **Se seu circuito necessitar de conexões comuns além de energia, e você não tiver pontos suficientes na coluna de buracos, use pedaços longos de fios para levar a conexão a uma outra parte da placa, onde você tenha mais espaço.** Você pode fazer os pontos de conexão comum em uma ou duas colunas entre um par de CIs, por exemplo.

A Figura 11-3 mostra um resistor, um fio jumper e um diodo emissor de luz (LED), inseridos em uma *protoboard*.

Não se preocupe em espalhar os elementos na sua *protoboard*. É melhor colocar os componentes um pouco distantes do que entulhar todos eles. Manter uma boa distância entre os CIs e os componentes, também ajuda a refinar e ajustar o circuito. Você pode adicionar partes mais facilmente sem perturbar as já existentes.

Figura 11-3: Descasque e torça as pontas do fio jumper e corte os terminais dos componentes, para que eles se encaixem direito na *protoboard*.

Fiação bagunçada torna difícil depurar um circuito e emaranhados de fios aumentam as chances de erro. Fios saem quando você não quer que eles fiquem, ou o circuito pode não funcionar como um todo. Para evitar o caos, tome um tempo para, cuidadosamente, planejar e construir seus circuitos na *protoboard*. Um esforço extra pode poupar muito tempo e frustração mais à frente.

Evitando circuitos danificados

Há umas poucas outras coisas que você precisa saber, para manter sua *protoboard* e seus circuitos em bom funcionamento:

- **Se seu circuito utiliza um ou mais chips CMOS, insira os chips CMOS por último.** Se precisar, utilize um CI TTL como tapa buraco, para ter certeza de que você colocou os fios apropriadamente. Chips TTL não são tão extremamente sensíveis à estática quanto os da variedade CMOS. Tenha certeza de ter providenciado as conexões para as fontes de energia positiva e negativa – e de ter conectado todas as entradas (coloque as entradas que você não for utilizar ou a trilha positiva ou a negativa). Quando estiver pronto para testar o circuito, remova o chip tapa-buraco e substitua-o pelo CI CMOS.
- **Nunca exponha uma protoboard ao calor, porque você pode danificar permanentemente o plástico.** CIs e outros componentes que se tornam muito quentes (por causa de um curto-circuito ou excesso de corrente, por exemplo) podem fundir o plástico embaixo deles. Toque em todos os componentes, quando tiver o circuito energizado, para verificar superaquecimento.

Meu circuito na protoboard não funciona direito!

Ao trabalhar com *protoboards* sem solda, você pode encontrar um problema bastante comum de *capacitância parasita*, que é uma capacitância indesejada (energia elétrica armazenada) em um circuito. Todos os circuitos têm uma capacitância inerente, que não pode ser evitada, mas quando há diversos fios indo para todos os lados, esta pode inesperadamente crescer. Em algum ponto (e isso difere de um circuito para o outro), essa capacitância parasita pode fazer o circuito se comportar mal.

Como *protoboards* sem solda contêm tiras de metal e necessitam de terminais c componentes um pouco longos, elas tendem a inserir uma boa quantidade de capacitância parasita nos circuitos. Como resultado, *protoboards* sem solda têm a tendência de mudar a característica de alguns componentes – mais notadamente capacitores e indutores. Essas variações podem mudar a maneira como um circuito se comporta. Tenha esse fato em mente se estiver trabalhando com circuitos de radiofrequência, tais como transmissores e receptores de rádio, circuitos digitais com sinais que mudam a uma taxa muito rapidamente (na ordem de alguns milhões de Hertz), e circuitos mais sensíveis ao tempo, que confiem em valores exatos de componentes.

- **Nunca use uma protoboard sem solda para aguentar uma corrente residencial de 120 VAC.** A corrente pode saltar entre os contatos, danificando a placa e oferecendo perigo.
- **Se um pequeno pedaço de terminal ou fio ficar alojado em um soquete, use uma pinça para puxá-lo gentilmente, para fora do buraco – com a energia desligada.**
- **Nem sempre você será capaz de terminar e testar um circuito de uma vez. Se precisar pôr sua protoboard de lado por um tempo, ponha-a fora do alcance de crianças, animais e curiosos.**

Soldando 101

Soldagem é o método que você usa para criar conexões condutivas, entre componentes e/ou fios. Você usa um dispositivo chamado *ferro de soldar* para derreter um metal macio chamado *solda,* de maneira que a solda flua ao redor dos dois terminais de metal que você estiver juntando. Quando o ferro de soldar for removido, a solda esfria e forma uma junta física condutiva, conhecida como *ponto de solda*, entre os fios ou terminais de componentes.

Você deve se preocupar com soldagem quando estiver planejando usar uma *protoboard sem* solda, para seus projetos de construção de circuitos? A resposta é sim. Quase todo projeto de eletrônica envolve alguma quantidade de soldagem. Por exemplo, você pode comprar componentes (tais como potenciômetros, interruptores e microfones) que não vêm com terminais – neste caso, você vai ter que soldar dois ou mais fios neles, para criar terminais, de forma que possa conectá-los à sua *protoboard*.

Claro, você também poderá usar essa técnica, extensivamente, quando criar circuitos permanentes em placas de solda, *perf boards* ou placas de circuito impresso (como descrito na seção "Estabelecendo um Compromisso: Criando um Circuito Permanente", mais tarde neste capítulo).

Preparando-se para soldar

Para fazer seus trabalhos de soldagem, você precisa de um ferro de solda (25-30 watts), um rolo de solda de gauge 16 ou 22 (60/40 rosin core), um apoio de solda seguro e uma pequena esponja. Reveja o Capítulo 9 para informação detalhada sobre como escolher o equipamento de soldagem, para seus projetos de eletrônica. Tenha certeza de ter posto seu ferro de soldar em segurança, no apoio de solda e posicione-o em um lugar seguro na sua bancada, onde seja difícil de ser derrubado.

Pegue alguns outros itens, como óculos de segurança (para proteger seus olhos dos respingos de solda), uma garra jacaré (que age como um dissipador de calor para componentes sensíveis à temperatura), uma pulseira antiestática (descrita no Capítulo 9), álcool isopropílico, um pedaço de papel, um lápis e alguma fita adesiva. Escreva um rótulo, como R1, num papel perto de cada parte, de forma que esta coincida com o rótulo no seu esquema. Ponha seus óculos de segurança e sua pulseira antiestática, e certifique-se de que sua área de trabalho esteja apropriadamente ventilada.

Molhe a esponja, espremendo o excesso de água. Ligue o ferro de soldar, espere um minuto, ou mais, para que ele aqueça (até uns 370°C), e então molhe a ponta do ferro de soldar, tocando *rapidamente* a ponta com a esponja. Se a ponta for nova, tempere-a antes de soldar para prevenir que a solda grude na ponta. Solda grudada pode formar um glóbulo feio e fazer um grande estrago, se cair no seu circuito. Você tempera a ponta ao aplicar uma pequena quantidade de solda fundida a ela. Em seguida você limpa qualquer excesso de solda com a esponja.

Periodicamente refaça a têmpera da ponta do seu ferro de soldar para mantê-lo limpo. Você pode também comprar limpadores de ponta, se a sujeira ficar incrustrada na ponta e não conseguir tirá-la durante a reciclagem regular.

Soldando para o sucesso

Uma soldagem bem-sucedida requer que você siga alguns simples passos e tenha muita prática. É importante se lembrar que o tempo é crítico, quando se trata da arte da soldagem. Ao ler esses passos do procedimento de soldagem, preste muita atenção às expressões como "imediatamente" e "uns poucos segundos" – e interprete-as literalmente. Aqui estão os passos para soldar uma junta:

1. **Limpe as superfícies de metal a serem soldadas.**

   Limpe os terminais, pontas de fios e superfícies riscadas de placas de circuito (descritas mais tarde neste capítulo) com álcool isopropílico, de forma que a solda tenha uma aderência melhor. Deixe as superfícies secarem bem antes de soldar: você não quer que elas peguem fogo!

2. **Segure os itens que estão sendo juntados.**

   Você pode utilizar uma *terceira mão* (descrita no Capítulo 9) ou um torno e uma garra jacaré para segurar firme um componente, enquanto solda um fio a ele, ou usar um alicate para segurar um componente no lugar, em uma placa de circuitos.

3. **Posicione o ferro de soldar.**

   Segure o ferro como se fosse um lápis, posicionando sua ponta num ângulo de 30 a 45 graus, em relação à superfície de trabalho. Veja a Figura 11-4.

4. **Direcione a ponta à junta na qual você estiver trabalhando (como mostrado na Figura 11-4).**

   Não aplique o calor diretamente na solda. Dê ao metal alguns segundos para se aquecer.

5. **Coloque a solda fria na área de metal aquecida.**

   A solda irá se fundir e fluir ao redor da junta, em alguns poucos segundos.

6. **Imediatamente remova a solda, e então remova o ferro.**

   Ao removê-los, segure o componente no lugar, até a solda esfriar e a junta solidificar.

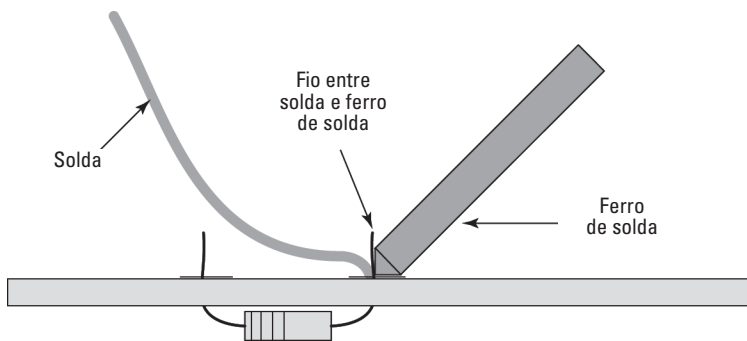
7. **Coloque o ferro de soldar em segurança, em seu apoio.**

   Nunca coloque um ferro de soldar quente na sua superfície de trabalho.

Seja cuidadoso e use apenas a quantidade certa de solda (o que significa aplicar a solda apenas pelo tempo certo): use pouco e formará uma conexão fraca; use muito, e a solda poderá formar glóbulos que, normalmente, causarão um curto-circuito.

Você pode danificar muitos componentes eletrônicos se deixá-los expostos ao calor prolongado ou excessivo, então tenha cuidado para aplicar o ferro de solda apenas o tempo suficiente para aquecer o terminal do componente, para uma soldagem apropriada – nem mais, nem menos.

Para evitar danificar componentes sensíveis ao calor (tal como transistores), fixe uma garra jacaré ao terminal, entre a pretendida junta de solda e o corpo do componente. Dessa maneira, qualquer excesso de calor será absorvido pela garra e não danificará o componente. Tenha certeza de que a garra esteja fria, antes de manipulá-la de novo.

Figura 11-4: Segurando o ferro em ângulo, aplique o calor às partes de metal que estiver soldando e, então, coloque a solda fria na junta.

Inspecionando a junta

Após a soldagem, você deverá inspecionar visualmente a junta, para ter certeza de que ela esteja forte e condutiva. A junta de solda esfriada deve ser brilhante, não escura e capaz de aguentar um pequeno esforço lateral. Se você soldou um terminal a uma placa de circuito, deve ter visto um *fillet* (uma área elevada de solda em forma de vulcão) na junta. Se você vir soldas escuras ou picos pontudos, saberá que tem uma *junta fria de solda*. Juntas frias são fisicamente mais fracas do que as feitas de forma correta, e não conduzem eletricidade tão bem.

Juntas frias de solda podem se formar se você mover o componente enquanto a solda ainda estiver esfriando, se a junta for suja ou oleosa ou se você falhar no aquecimento apropriado da solda. Ressoldar sem primeiro retirar a solda já feita, frequentemente produz juntas frias de solda, porque a solda original não está aquecida o suficiente.

Se você tiver uma junta fria de solda, é melhor remover completamente a já existente (como descrito na próxima seção, “Removendo a solda se necessário”), limpar a superfície com álcool isopropílico e reaplicar uma solda nova.

Removendo a solda, se necessário

Em algum momento do seu trabalho com eletrônica, você vai se deparar com uma junta fria de solda, um componente soldado ao contrário ou algum outro infortúnio na soldagem. Para corrigir esses erros, você tem que remover a solda da junta e aplicar uma nova. Você pode usar uma bomba dessoldadora (também conhecida como aspirador de solda e descrita brevemente), uma *solder wick*, ou ambas, para fazer isso.

Use uma *malha dessoldadora* (conhecida pelo nome em inglês de *solder wick* ou *solder braid*), que é um trançado plano de cobre que remove soldas difíceis de alcançar. Você o coloca sobre a solda indesejada e aplica calor. Quando a solda alcançar o ponto de fusão, irá aderir ao fio de cobre, que então você remove e joga fora.

Tenha cuidado ao utilizar o solder wick. Se tocar no trançado quente, você pode conseguir uma séria queimadura – cobre conduz calor muito bem.

Uma bomba de remoção de solda (também conhecida como aspirador de solda), usa um aspirador para sugar o excesso de solda que você fundiu com seu ferro de soldar. Há dois tipos:

- **Bomba estilo de êmbolo de mola**: Para usar uma mola-bomba carregado, pressione o êmbolo da posição do bico sobre a articulação que pretende remover. Então você posiciona cuidadosamente a ponta do ferro de soldar nas juntas para aquecer a solda, evitando o contato com o fim da bomba. Quando a solda começa a fluir, você libera o êmbolo para sugar a solda. Finalmente, você expele a solda da bomba (para um recipiente de resíduos) libertando o êmbolo mais uma vez. Repita essas etapas se forem necessárias, para remover o máximo de solda antiga quanto possível. Não guardar uma bomba *desoldering* com um êmbolo engatilhada. A vedação de borracha pode tornar-se deformado, diminuindo o vácuo na medida em que as bombas podem ser incapazes de sugar qualquer solda.

- **Bomba estilo de bulbo**: Uma bomba estilo de bulbo funciona como uma variação da bomba de êmbolo, exceto que você aperta o bulbo para criar o vácuo e libera para sugar a solda. Você pode achar difícil usar esta bomba, a menos que você a monte no ferro de soldar. Na verdade, um dispositivo chamado bomba estilo de bulbo consiste de um ferro de solda com um bulbo de vácuo *piggybacked* ao lado dela.

Esfriando após a soldagem

Crie o hábito de desplugar – não apenas desligar – seu ferro de soldar quando terminar seu trabalho de soldagem. Esfregue a ponta do ferro ainda morno na esponja, para limpar o excesso de solda. Depois de esfriado, você pode usar uma pasta para limpar pontas e remover a sujeira mais entranhada. Então você poderá terminar, com três boas práticas:

- Tenha certeza de que o ferro esteja totalmente frio, antes de guardá-lo.
- Coloque seu rolo de solda em um plástico, para evitar que ele fique sujo.
- Sempre lave suas mãos quando terminar de soldar, porque a maioria das soldas contém chumbo, que é venenoso.

Praticando a solda com segurança

Mesmo que esteja planejando soldar apenas uma conexão, você deverá tomar as precauções apropriadas para se proteger – e as pessoas à sua volta. Lembre-se, o ferro vai alcançar temperaturas que excedem os 371ºC aproximadamente e a maioria das soldas contém o venenoso chumbo. Você (ou um amigo por perto, ou seu bichinho de estimação) pode ser inadvertidamente atingido por algum respingo de solda se topar com uma ocasional bolsa de ar ou outra impureza no seu rolo. Apenas uma pequena gota de solda atingindo você no olho, ou um ferro de soldar caindo e atingindo seu pé descalço, pode arruinar o dia, uma parte do corpo – e uma amizade.

Prepare sua área de trabalho – e se prepare – com soldagem em segurança na cabeça. Tenha certeza de que a sala é bem ventilada, que você tem seu ferro colocado direito no apoio e que o fio elétrico esteja posicionado de forma a evitar tropeços. Use sapatos (chinelos nem pensar!), óculos de segurança e pulseira antiestática quando for soldar. Evite pôr seu rosto muito perto da solda quente, o que poderá irritar seu sistema respiratório e possivelmente respingar. Mantenha seu rosto de lado, e use uma lente de aumento, se necessário, para ver pequenos componentes que estiver soldando.

Nunca solde um circuito energizado! Tenha certeza de que a bateria, ou outra fonte de energia, esteja desconectada, antes de aplicar seu ferro de soldar aos componentes. Se seu ferro tiver um controle de temperatura ajustável, coloque-o na configuração recomendada para a solda que estiver utilizando. Se esse cair, acidentalmente, *afaste-se* e deixe-o cair. Se tentar agarrá-lo, a Lei de Murphy diz que irá segurá-lo pelo lado errado.

Finalmente, sempre desplugue seu ferro de soldar quando terminar e, prontamente, lave sua mãos.

Estabelecendo um Compromisso: Criando um Circuito Permanente

Você aperfeiçoou o melhor circuito do mundo e quer torná-lo permanente. Há diversas formas possíveis de você transferir seu circuito e fazer conexões que durem. *Protoboards* para solda e placas perf são duas das fundações populares para circuitos permanentes. Você pode soldar suas conexões em qualquer uma das superfícies, mas se quiser flexibilidade adicional, poderá usar uma técnica chamada *wire-wrapping*, para fazer conexões em uma placa perf. Esta seção cobre os vários métodos de criar um compromisso com seu circuito.

Fazendo placas de circuito com CIs plug and play

Quando for construir placas de circuito, em vez de soldar os CIs diretamente na placa, use um soquete de CI. Você solda o soquete na placa, e após fazer a solda, pluga o CI e liga a energia.

Soquetes de CI vêm em diferentes formas e tamanhos, que combinam com os circuitos integrados para os quais eles foram feitos. Por exemplo, se você tiver um circuito integrado de 16 pinos, escolha um soquete de 16 pinos.

Aqui estão algumas boas razões para utilizar soquetes:

- **Soldar uma placa de circuito pode gerar estática.** Ao soldar o soquete, em vez do próprio CI, você pode evitar arruinar o CMOS ou outros CIs sensíveis à estática.
- **CIs são frequentemente a primeira coisa a funcionar mal, quando você está fazendo experimentos em eletrônica.** Ter a opção de tirar um chip que você suspeita não ser muito bom, por um que esteja funcionando, faz com que a compreensão dos problemas seja muito mais fácil.
- **Você pode dividir um CI caro, tal como um microcontrolador, entre diversos circuitos.** Apenas tire-o de um soquete e plugue-o em outro.

Soquetes estão disponíveis em todos os tamanhos, para atender aos diferentes arranjos de pinos dos circuitos integrados. Eles não custam muito.

Movendo seu circuito para uma protoboard com solda

A *protoboard* com solda, também chamada *solder board* e experimenter's PC board ou universal *solder board*, permite que utilize qualquer *design* que você criou em uma *protoboard* sem solda e o torne permanente. Você pode transferir seu *design* para uma placa de solda facilmente, porque a protoboard com solda tem o mesmo *layout* que uma *protoboard* sem solda.

Para transferir seu *design*, você simplesmente retira as partes da sua *protoboard* sem solda, insere-as na *protoboard* com solda e as solda no lugar. Use fios da mesma maneira que você fez na *protoboard* sem solda originalmente: para juntar componentes que não estejam eletricamente conectados pelas tiras de metal, na placa de circuito.

Se você projetar um circuito bem pequeno, poderá usar apenas metade de uma *protoboard* com solda. Antes de transferir os componentes, corte-a com uma serra. Use uma máscara protetora para evitar respirar a poeira *produzida* ao serrar. Limpe a porção da placa que você deseja usar e faça a solda.

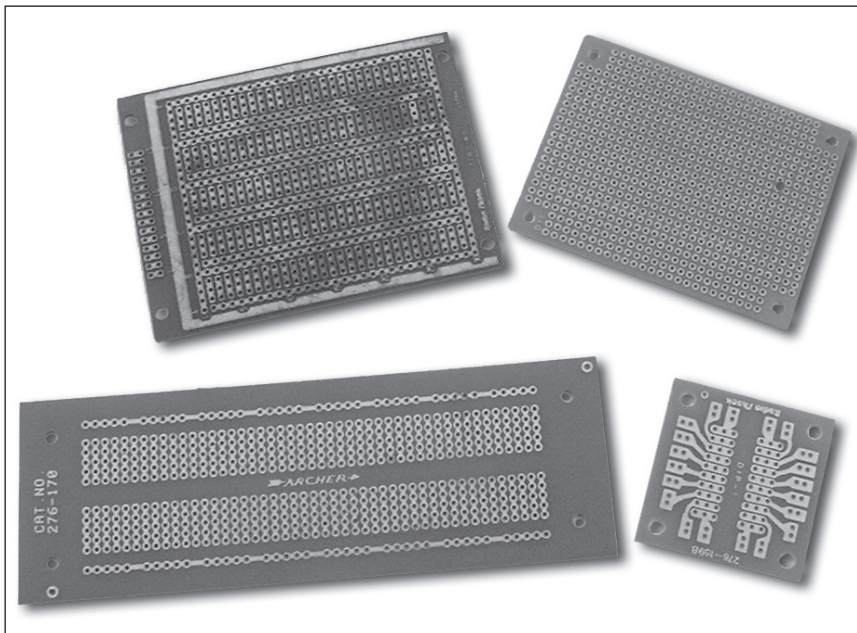
Deixe espaço nos cantos da placa para que possa fazer buracos para a montagem. Você usa esses buracos para fixar a placa dentro de qualquer cápsula que seu projeto forneça (tal como o chassi de um robô). Alternativamente, você poderá fixar a placa em um quadro ou dentro de uma caixa, utilizando uma fita acolchoada de dupla face (*double-sided foam tape*). A fita amortece a placa, previne quebras e a espessura da fita previne que a parte de baixo da placa toque o chassi.

Protoboards com solda têm uma grande desvantagem: elas não utilizam o espaço eficientemente. A menos que aglomere os componentes na placa, a *protoboard* limitará a construção de circuitos com dois ou quatro circuitos integrados e um punhado de componentes discretos. Com o tempo, após algumas tentativas e erros, você poderá descobrir como conservar espaço numa placa com solda.

Prototipando com placas perfuradas

Outro tipo de placa de circuito de uso geral que você pode utilizar para seus projetos, é uma placa perf pré-perfurada. Essas placas são conhecidas por diversos nomes, tais como *grid board*, *prototyping PC board*. As placas perfuradas vêm em diversos tamanhos e estilos, como as mostradas na Figura 11-5. Algumas são nuas, mas a maioria contém lâminas e discos de cobre para a fiação. Todos os estilos são projetados para que utilize CIs e outros componentes eletrônicos modernos, o que significa que os buracos são espaçados em 0,1 polegada.

Você pode escolher o estilo da placa de grade, de acordo com o tipo de circuito que está construindo. Alguns *layouts* de grade servem para certas aplicações, melhor do que para outras. Pessoalmente, preferimos a placa PC universal plana com buses interlaçados, porque achamos que elas são mais fáceis de utilizar. Um *bus* é um termo em eletrônica para um ponto de conexão em comum. Você junta os componentes na placa PC universal, utilizando três (ou mais) pontos de contato.

Figura 11-5: Umas poucas amostras de placas perf, prontas para limpá-las, se necessário, e adicionar os componentes eletrônicos.

Um bus passa pela placa de circuito, para que você possa facilmente afixar componentes a ele. Muitas placas perf têm pelo menos dois buses, um para a energia e outro para o terra. Os buses correm de cima a baixo na placa, como você pode ver na Figura 11-6. Esse *layout* funciona para circuitos que utilizam muitos circuitos integrados. Alternar os buses para fonte de energia e para terra, também ajuda a reduzir efeitos capacitivos e indutivos indesejáveis.

Para construir circuitos utilizando placas perf simples, que não possuam lâminas e discos de cobre para fiação, você usará o método de *wire-wrapping* (discutido na próxima seção). A maioria das placas perf contém discos e lâminas, de forma que você possa soldar os componentes diretamente neles, ou utilizar o wire-wrapping. Você pode utilizar essas placas perf como usa a *protoboard* com solda. Após limpar a placa de forma que os discos e lâminas de cobre fiquem limpos e brilhantes, plugue os componentes na placa e solde-os no lugar. Use fios isolados para conectar componentes que não sejam adjacentes.

Enrolando seus fios

Wire-wrapping é um sistema de fiação ponto a ponto, que usa uma ferramenta especial e fio para *wrapping* extrafino, de gauge 28 ou 30. Quando você faz isso apropriadamente, os circuitos feitos com *wire-wrapping* são tão resistentes, quanto os circuitos soldados. E você tem o benefício adicional de ser capaz de fazer modificações e correções, sem a bagunça de ter que remover a solda e depois soldar de novo.

Você deve limitar os projetos feitos através de *wire-wrapping* a projetos que utilizem apenas DC de baixa voltagem. Isso não é para circuitos que requerem muita corrente, porque o fio que você usa não é largo o suficiente para carregar muita corrente.

Para fazer o *wire-wraping*, você precisa:

- **Placa perfurada (perf board)**: Você afixa os componentes nesta placa. Pode usar uma placa pura (sem cobre) ou uma que tenha discos de componentes para soldagem. Pessoalmente preferimos as placas com os discos.
- **Soquetes de wire-wrap para CIs e outros componentes**: Esses soquetes possuem pontas de metal extra longas. Você amarra o fio ao redor dessas pontas.
- **Pontas de amarração**: Essas pontas servem como pontos de conexão comum para afixar os componentes.
- **Fio para wire-wrap**: O fio vem pré-cortado ou em rolos. Nós preferimos o pré-cortado, mas tente ambos, antes de formar uma opinião.
- **Ferramenta para wire-wrap**: Você pode usar essa ferramenta específica para amarrar o fio ao redor da ponta e removê-lo. A ferramenta também inclui um descascador de isolamento; use essa ferramenta, e não um descascador de fio normal, para remover o isolamento do fio para *wire-wrap*.

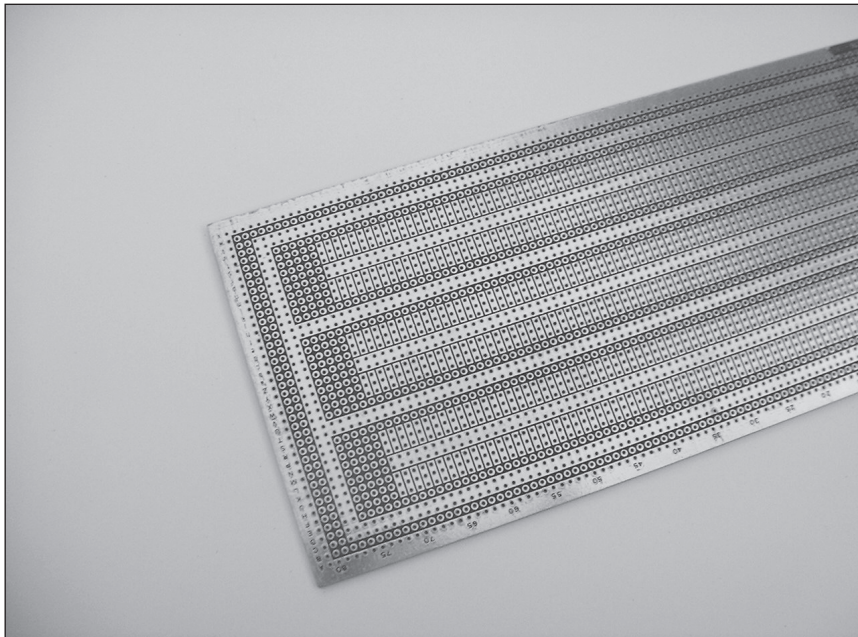



Figura 11-6: Diversos buses de cima para baixo nesta placa perf.

Apesar de você poder fazer o *wire-wrap* diretamente nos terminais dos resistores, capacitores, diodos e outros componentes, a maioria das pessoas prefere utilizar soquetes para *wire-wrap*. O motivo? A maioria dos componentes possui terminais arredondados. Um soquete para *wire-wrap* possui pontas quadradas. O formato quadrado ajuda a pressionar o fio, mantendo as coisas no lugar. Se você fizer o *wrap* diretamente aos terminais dos componentes, poderá querer adicionar um pouco de solda, para manter o fio no lugar.

O processo de *wire-wrap* é bem direto. Você apenas insere todos os soquetes na placa perf, usa a ferramenta de *wire-wrap* para conectar os soquetes e então pluga os CIs e outros componentes em seus soquetes. Se sua placa perf tiver discos para solda, então seria adequado tocar um pouquinho de solda entre um dos discos, com a ponta passando através dele. Essa gota de solda previne que os soquetes saiam.

Uma grande vantagem do *wire-wrap* sobre a solda é que você pode fazer mudanças de maneira relativamente fácil. Simplesmente desfaça o *wrap* e roteie para outra ponta. Se o fio ficar ruim, apenas substitua-o por um novo.

Há mais sobre o *wire-wrap* do que este livro pode cobrir aqui. Se ele soar como um método que você ache ser útil, faça uma busca na internet utilizando as seguintes palavras-chave: *wire wrapping technique electronics*. Você irá encontrar numerosos sites que o ajudem a se tornar um expert em *wire-wrap*, tal como: `http://www.ee.ryerson.ca:8080/~jkoch/prototype/Proto.htm`.

Fazendo uma placa de circuitos personalizada

Depois de se tornar experiente nos caminhos do *design* e construção de projetos eletrônicos, você poderá querer passar para um nível superior e criar sua própria placa de circuito, direcionada para um *design* de circuito em particular. Você pode fazer (sim, fazer) sua própria *placa de circuito impresso (PCB)* – uma superfície que dá suporte ao seu circuito e inclui interconexões ao longo da superfície da placa – assim como os fabricantes de eletrônicos fazem. PCBs são confiáveis, robustas e permitem circuitos de alta densidade e possibilitam a você incluir componentes de tamanhos fora do padrão, que podem não caber em outros tipos de placas de circuitos.

Fazer uma placa de circuito impresso é um processo complicado – e além do escopo deste livro – mas aqui está um básico sobre alguns dos passos envolvidos:

1. Você faz uma PCB em branco, colando ou laminando uma fina camada de cobre, conhecida como *revestimento* sobre uma superfície de plástico, epoxy ou base fenólica. Isso forma um tipo de "tela em branco" para a criação do circuito.
2. Você prepara uma máscara do *layout* do seu circuito, transfere-a para um filme transparente claro e usa a máscara para expor uma folha de cobre sensibilizada à forte luz ultravioleta.
3. Você mergulha a folha sensibilizada e exposta em um produto químico para desenvolvimento, produzindo um padrão (chamado *resist pattern*) do *layout* da placa de circuito.
4. Você forma o *layout* do circuito removendo as porções do cobre não protegidas pelo resistor – deixando para trás apenas o *design* impresso do circuito, que consiste de *discos* (pontos de contato para componentes) e *lâminas* (interconexões).
5. Você perfura buracos no centro de cada disco para que possa montar os componentes em cima da placa, com os terminais saindo pelo outro lado.
6. Finalmente, você solda cada terminal de componente aos discos da placa.

Para descobrir como fazer sua própria PCB, você pode procurar na internet pelas seguintes palavras-chave: *make printed circuit board* – que encontrará tutoriais, ilustrações e mesmo vídeos que explicam o processo em grande detalhe.

Capítulo 12

Medindo e Analisando Circuitos

Neste Capítulo:

- Apresentando seu novo melhor amigo: o multímetro
- Utilizando o multímetro para medir todos os tipos de coisas
- Configurando e calibrando seu multímetro
- Certificando-se de que os componentes eletrônicos estejam funcionando apropriadamente
- Testando seus circuitos
- Identificando a causa dos problemas nos circuitos

Sua excitação cresce na medida em que você dá os toques finais no seu circuito. Com amigos próximos ao seu lado, ansiosos para testemunhar a primeira das suas engenhosas explorações em eletrônica, você segura a respiração, liga a energia, e...

Nada. Pelo menos, nada inicialmente. Então, desapontamento, desilusão e descrédito à medida que seus amigos – e sua confiança – vagarosamente saem de cena.

O que poderia ter dado errado? Você se pergunta. Então você percebe: há fumaça saindo do que costumava ser um resistor. Então, descobre que usou um resistor de 10 Ω em vez de um resistor de 10kΩ, confiando que seus velhos olhos e sua mente calejada fossem ler e interpretar as listras do resistor apropriadamente. Oops!

Neste capítulo, você descobrirá como utilizar uma ferramenta incrivelmente versátil – o multímetro – para realizar importantes verificações nos circuitos e componentes eletrônicos. Esses testes ajudam a determinar se tudo está OK antes de ir em frente e exibir seu circuito para os amigos e a família. Quando tiver lido este capítulo, você irá perceber que seu multímetro é tão importante quanto um tanque de oxigênio para um mergulhador: vocês dois podem se dar bem sozinhos por um tempo, porém, mais cedo ou mais tarde, vocês irão sofrer, a menos que consigam alguma ajuda.

Múltiplas Tarefas com um Multímetro

Como você não pode seguir os elétrons nos seus circuitos simplesmente com os olhos – e *não* quer segui-los com suas mãos – você precisa da ajuda de um instrumento eletrônico de testes, conhecido como multímetro.

Um *multímetro* é um dispositivo de testes portátil e não muito caro que pode medir voltagem, corrente e resistência. Alguns testam diodos, capacitores e transistores. Com essa útil ferramenta, você pode verificar as voltagens apropriadas, testar se seu circuito tem um curto-circuito, determinar se há uma quebra em um fio ou uma conexão, e muito mais. Seja amigo do seu multímetro, porque ele pode ajudá-lo a ter certeza de que seus circuitos funcionam apropriadamente e é uma valiosa ferramenta para buscar e encontrar problemas nos circuitos.

A Figura 12-1 mostra um multímetro típico. Você gira um seletor para escolher (a) o tipo de medida que quer fazer e (b) a faixa de valores para esta medida. Você então aplica as pontas de metal dos dois testadores (um vermelho, um preto) a um componente ou em alguma parte do seu circuito, e o multímetro exibe a medida resultante.

Os testadores do multímetro possuem pontas cônicas que você segura, em contato com o componente que estiver testando. Você pode comprar clipes de teste com molas que colocará nas pontas, tornando fácil fixar as pontas de teste aos terminais de componentes ou outros fios. Esses clipes de teste isolados asseguram uma boa conexão entre as pontas de teste e qualquer outra coisa que esteja testando, enquanto previnem contato acidental com outras partes do circuito.

É um voltímetro!

Multímetros podem medir tanto voltagens AC quanto DC. Eles fornecem uma variedade de faixas de medidas, de 0 volt até uma voltagem máxima. Um conjunto típico de faixas de voltagem DC é 0-0,25 V, 0-2,5 V, 0-10 V, 0-50 V e 0-250 V. Você pode utilizar o multímetro como um *voltímetro*, para medir a voltagem de uma bateria fora de um circuito ou *em carga* (significando que ela está fornecendo energia a um circuito). Você também pode utilizá-lo com seus circuitos energizados se quiser testar as quedas de tensão, ao longo de elementos do circuito e voltagens em diversos pontos do seu circuito, com relação ao terra.

Voltímetros são tão importantes em eletrônica, que até possuem seu próprio símbolo de circuito, mostrado aqui. Você pode ver este símbolo com terminais, tocando pontos em um circuito sobre o qual você leu em um *site* ou em um livro de eletrônica. Ele lhe diz para tomar a medida da voltagem entre os dois pontos indicados.

Figura 12-1: Multímetros medem voltagem, corrente, resistência e continuidade.

Seu multímetro pode ajudá-lo a localizar precisamente um problema em seu circuito. Ele pode verificar se a voltagem apropriada alcança um componente, tal como um diodo emissor de luz (LED) ou um interruptor. Você usa os testes do multímetro para diminuir o número de suspeitos, até achar o culpado de causar suas dores de cabeça.

É um amperímetro!

Seu multímetro também funciona como um *amperímetro*, um dispositivo que mede a corrente, fluindo através de um circuito. Você utiliza essa função do multímetro para determinar se um circuito ou componente está consumindo muita corrente. Se seu circuito tiver mais corrente fluindo por ele do que a que ele foi projetado para aguentar, os componentes podem superaquecer e danificar seu circuito permanentemente.

O símbolo de circuito para um amperímetro é mostrado aqui.

Uau! É um ohmímetro também!

Você pode medir a resistência de um componente individual ou de um circuito inteiro (medido em ohms, como detalhado no Capítulo 3) com seu multímetro, funcionando como um *ohmímetro*. Você utiliza esta função para verificar fios, resistores, motores e muitos outros componentes. Você sempre testa a resistência com o circuito *desenergizado*. Se o circuito estiver energizado, a corrente fluindo por ele poderá invalidar as leituras de resistência – ou danificar o medidor.

O símbolo de circuito para um ohmímetro é mostrado aqui.

Se estiver medindo a resistência de um componente individual, tire-o do circuito antes de testá-lo. Se você testar um resistor enquanto ele estiver ligado ao circuito, obterá a resistência entre dois pontos, que não é necessariamente a resistência somente do seu resistor. Veja o Capítulo 3 para mais detalhes sobre resistência equivalente.

Como resistência, ou falta de resistência, pode revelar curto-circuitos e circuitos abertos, você pode usar seu ohmímetro para farejar problemas, tais como quebras em fios e pequenos curtos entre os componentes. Um curto-circuito gera uma leitura de resistência zero no ohmímetro (ou virtualmente zero); um circuito aberto gera uma leitura de resistência infinita. Se você testar a resistência, de uma ponta do fio à outra e obtiver uma leitura infinita, então saberá que deve haver uma quebra em algum lugar, ao longo do comprimento do fio. Tais testes são conhecidos como *testes de continuidade*.

Ao medir a resistência, você pode dizer se os seguintes elementos e conexões do circuito estão funcionando adequadamente:

- **Fusível:** Um fusível queimado gera uma leitura de resistência infinita, indicando um circuito aberto.
- **Interruptores**: Um interruptor em posição de "ligado" gera uma leitura de resistência de valor zero (ou um valor baixo); um interruptor em posição de "desligado" gera uma leitura de resistência infinita.
- **Traços nas placas de circuitos**: Um mau traço de cobre (linha) em uma placa de circuito impresso age como um fio quebrado e gera uma leitura de resistência infinita.
- **Juntas de solda**: Uma junta ruim, gera uma leitura de resistência infinita.

Muitos multímetros incluem uma característica de teste de continuidade audível. Ao girar o seletor do medidor para Continuidade ou Tom, você ouvirá um bipe, sempre que o medidor detectar continuidade em um fio ou conexão. Se o fio ou conexão não possuir continuidade, o medidor ficará em silêncio. O tom audível lhe dá uma maneira conveniente para verificar um circuito inteiro sem ter que manter seu olho no mostrador.

Explorando Multímetros

Multímetros variam de modelos simples e baratos a modelos ricos em características para os hobbistas de preço médio, até sofisticados modelos industriais que custam muito caro. Mesmo um multímetro barato pode realmente lhe ajudar a entender o que está acontecendo em circuitos de baixa voltagem – mas a menos que esteja realmente duro, é uma boa ideia gastar um pouco mais em um multímetro, para conseguir mais características; com certeza você vai achá-las úteis na medida em que for expandindo seus horizontes na eletrônica.

Escolhendo um estilo: analógico ou digital

A maioria dos multímetros hoje em dia, incluindo o mostrado na Figura 12-1, são *multímetros digitais*, fornecendo leituras em um mostrador digital. Você também pode encontrar alguns *multímetros analógicos,* de estilo antigo, que usam uma agulha para apontar para um conjunto de escalas graduadas. Você pode ver um multímetro analógico na Figura 12-2.

Um multímetro analógico pode ser um pouco trabalhoso de usar. Após selecionar o tipo de teste (voltagem, corrente ou resistência) e a faixa, você deve correlacionar os resultados, utilizando a escala apropriada no mostrador do medidor e estimar a leitura, quando a agulha entrar em ação. É fácil obter uma leitura errônea – seja por má interpretação das divisões da escala, erros de aritmética mental ou por uma visão errada do local para onde a agulha está apontando. Além disso, medições de resistência são bastante imprecisas, porque a escala de medidas está comprimida nos valores altos.

Multímetros digitais exibem cada resultado de medida como um número preciso, tirando a adivinhação do processo de leitura. A maioria dos multímetros digitais portáteis é precisa até 0,8% para voltagens DC; os modelos caros industriais são até 50 vezes mais precisos. Muitos multímetros digitais também incluem uma característica de *autoajuste*, que significa que o medidor automaticamente se ajusta para exibir o resultado mais acurado possível; alguns possuem características especiais de teste para verificar diodos, capacitores e transistores.

Multímetros analógicos, na verdade, superam os multímetros digitais, quando a questão é detectar leituras *oscilantes*, mas se você não tiver muita necessidade disso, sua melhor aposta é conseguir um multímetro digital, por causa de sua facilidade de uso e das suas leituras mais precisas.

Figura 12-2: Um multímetro analógico usa uma agulha para indicar voltagem, corrente e outros valores.

Dando uma olhada mais atenta em um multímetro digital

Todos os multímetros digitais realizam as medidas básicas de voltagem, corrente e resistência. Eles diferem na faixa de valores que podem medir, nas medidas adicionais que eles podem realizar, na resolução e sensibilidade das medidas e nos detalhes extras que vêm com eles.

Certifique-se de pelo menos folhear o manual do multímetro que você comprou. Ele contém uma descrição das características e especificações para o seu medidor, assim como importantes precauções de segurança.

Aqui está o que você encontra quando explora um multímetro digital:

- **Botão de ligar/bateria/fusível**: O botão de on/off conecta ou desconecta a bateria que alimenta o multímetro. Muitos multímetros utilizam baterias de tamanho padrão, como a de 9 V ou pilha AA, mas multímetros de bolso utilizam uma bateria em forma de moeda. Evite usar baterias recarregáveis em um multímetro; elas podem gerar resultados errôneos em alguns modelos. A maioria dos multímetros usa um fusível interno para se proteger contra corrente ou voltagem excessivas; alguns vêm com um fusível extra (se o seu não vier, compre um).

- **Seletor de funções**: Gire o disco para escolher o teste a ser feito (voltagem, corrente, resistência, ou alguma outra coisa) e, em alguns modelos, a faixa de valores que quer utilizar. Alguns multímetros são mais "multi" do que outros, e incluem uma ou mais das seguintes categorias: testes de amperagem AC, capacitância, ganho do transistor (h_{FE}) e diodo. Muitos multímetros ainda dividem algumas categorias de medidas de 3 a 6 faixas; quanto menor a faixa, maior a sensibilidade da leitura. A Figura 12-3 mostra um *close-up* de um seletor de funções.
- **Ponteiras e receptáculos para teste**: Multímetros baratos vêm com ponteiras de teste básicas, mas você pode comprar ponteiras retráteis, que se esticam a algumas dezenas de centímetros e recolhem-se a um tamanho menor, quando não estão em uso. Você também pode querer comprar terminais em clipe com mola, que se fixam no lugar e são isolados, para prevenir que a ponta de metal entre em contato com outras partes do circuito. Alguns multímetros com ponteiras de teste removíveis fornecem mais de dois receptáculos para as pontas. Você insere a ponta de teste preta no receptáculo marcado GROUND ou COM (Terra), mas a ponta vermelha pode ser inserida em um receptáculo diferente, dependendo de qual função ou faixa você selecionou. A maioria dos medidores fornece soquetes de entrada adicionais para testar capacitores e transistores, como mostrado no canto superior direito da Figura 12-3. Veja o manual do seu multímetro, para mais detalhes.

Figura 12-3: Multímetros digitais fornecem uma grande variedade de opções de medidas.

- **Tela digital**: A leitura é dada em unidades especificadas pela faixa que você selecionou. Por exemplo, uma leitura de 15,2 significa 15,2 V se selecionou a faixa de 20 V, ou 15,2 milivolts (mV) se selecionou uma faixa de 200 mV. A maioria dos multímetros digitais, projetados para hobbistas, tem o que se chama de *mostrador de 3½ dígitos*: A leitura dele contém três ou quatro dígitos, onde cada um dos três dígitos mais à direita pode ser qualquer dígito de 0 a 9, mas o quarto dígito opcional (isto é, o dígito mais à esquerda – o mais significante) é limitado a 0 ou 1. Por exemplo, se definido para uma faixa de 200 V, esse multímetro vai dar leituras variando de 00,0V a 199,9 V.

Acertando a faixa

Muitos multímetros digitais (e a maioria dos multímetros analógicos) requerem que você selecione a faixa, antes do medidor poder fazer uma medida acurada. Por exemplo, se estiver medindo a voltagem de uma bateria de 9 V, definirá a faixa para o conjunto mais perto de (mas ainda superior) 9 volts. Para a maioria dos medidores, isso significa selecionar a faixa de 20 V ou de 50 V.

Se você selecionar uma faixa muito maior, a leitura que irá obter não será tão acurada. Por exemplo, em uma conFiguração de 20 V, sua bateria de 9 V pode produzir uma leitura de 8,27 V, mas numa conFiguração de 200 V, a mesma bateria produz uma leitura de 8,3 V. Você frequentemente necessitará de tanta precisão nas leituras quanto for possível.

Se você selecionar uma faixa muito pequena, um multímetro digital tipicamente exibirá um 1 (ou OL) piscante, e a agulha em um medidor analógico ficará fora da escala, possivelmente danificando o movimento da agulha de precisão (dessa forma, certifique-se de começar com uma faixa maior, para depois reduzi-la, se necessário.) Se vir um indicador de *over range* (*fora de escala*) ao testar continuidade, significa que a resistência é tão alta que o medidor não consegue registrá-la; é bastante seguro assumir que é um circuito aberto.

A característica de autoajuste encontrada em muitos multímetros digitais torna ainda mais fácil obter uma leitura precisa. Por exemplo, quando quiser medir voltagem, você configura a função do medidor para Volts (seja AC ou DC) e toma a medida. Automaticamente o medidor seleciona a faixa que produz a leitura mais precisa. Se vir um indicador de fora de escala (1 ou OL piscante), saberá que o valor é muito alto para ser medido pelo multímetro. Multímetros com autoajuste não requerem configuração de faixa, assim sendo, o disco seletor é muito mais simples.

Há um limite que um multímetro pode testar. Você chama esse limite de *faixa máxima*. A maioria dos multímetros para consumo tem aproximadamente a mesma faixa máxima para voltagem, corrente e resistência. Para sua eletrônica de *hobby*, qualquer medidor com as seguintes faixas máximas (ou melhores) deve servir:

Volts DC: 1.000V

Volts AC: 500 V

Corrente DC: 200 mA (miliamperes)

Resistência: 2MΩ (dois megohms, ou 2 milhões de ohms)

E se precisar testar correntes maiores?

A maioria dos multímetros digitais limita as medidas de corrente a menos de um ampere. O multímetro digital típico tem a faixa máxima de 200 miliamperes. Tentar medir correntes substancialmente maiores pode fazer com que o fusível abra. Muitos multímetros analógicos, especialmente os mais antigos, suportam leituras de corrente de no máximo 10 amperes.

Se estiver testando motores ou circuitos que puxem muita corrente você pode achar útil um multímetro analógico que possa tolerar uma entrada de alta amperagem. Se tiver apenas um multímetro digital com uma entrada limitada a miliamperes, você ainda pode medir correntes maiores indiretamente, utilizando um resistor de valor pequeno e alto watt de potência. Para fazer isso, posicione um resistor de 1Ω e 10 watts em série com seu circuito, de forma que a corrente que queira medir passe por esse resistor de teste. Então, use seu multímetro como um voltímetro, medindo a queda de tensão no resistor de 1Ω. Finalmente, aplique a Lei de Ohm para calcular a corrente que flui através do resistor de teste, da seguinte maneira:

$$\text{corrente} = V/R = V/1\ \Omega$$

Como o valor nominal do resistor é 1Ω, a corrente (em amperes) através dele, tem aproximadamente o mesmo valor da voltagem (em volts) que você mediu no resistor. Note que o valor do resistor, na prática, não irá ser exatamente de 1Ω, então sua leitura poderá ter um erro de 5% a 10%, dependendo da tolerância do seu resistor e da acurácia do seu medidor. Dê uma revisada na Lei de Ohm no Capítulo 3.

Configurando Seu Multímetro

Antes de testar seus circuitos, você deve ter certeza de que seu multímetro funciona apropriadamente. Qualquer mau funcionamento dará resultados incorretos de testes – e você pode nem mesmo perceber isso. Para testar seu multímetro, siga estes passos:

1. **Certifique-se de que as pontas de teste estejam limpas.**

   Pontas de teste sujas ou corroídas podem causar resultados inacurados. Use um limpador de contatos eletrônicos, para limpar ambas as pontas e, se necessário, os conectores no multímetro.

2. **Ligue o multímetro e selecione a configuração de Ohms (Ω).**

   Se o multímetro não estiver se autoajustando, configure-o para poucos ohms.

3. **Plugue ambas as pontas de teste nos conectores apropriados do multímetro e depois, junte as duas pontas (ver Figura 12-4).**

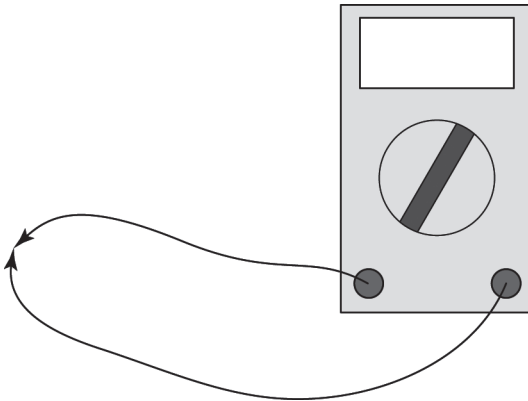
   Evite tocar as pontas de metal com seus dedos enquanto estiver realizando o teste do multímetro. A resistência natural do seu corpo pode comprometer a acurácia do medidor.

4. **O multímetro deve mostrar uma leitura de 0 (zero) ohm ou muito perto disso.**

Se o seu multímetro não possuir uma característica de autozerar, pressione o botão de Adjust (ou Zero Adjust). Em multímetros analógicos, gire o seletor Zero Adjust até a agulha apontar 0 (zero). Mantenha as pontas em contato e aguarde um segundo ou dois, para o multímetro se configurar em zero.

5. **Se você não conseguir qualquer resposta do multímetro quando juntar as pontas de teste, verifique novamente o seletor do multímetro.**

   Nada acontecerá se você estiver com multímetro configurado para registrar voltagem ou corrente. Se tiver certeza de que o multímetro está com as configurações corretas e mesmo assim ele não responde, pode ser que as pontas de teste estejam ruins. Se necessário, conserte ou substitua qualquer ponta de teste ruim por um conjunto novo.

Figura 12-4: Junte as pontas de teste do multímetro e verifique uma leitura de zero ohm para ter certeza de que o medidor está funcionando direito.

Você pode considerar seu medidor *calibrado* quando ele estiver lendo zero ohm com as pontas de teste se tocando. Faça esse teste cada vez que for usar o multímetro, especialmente se você o desligar entre os testes.

Se seu medidor tiver uma configuração Continuidade, não a utilize para ajustar o zero (calibrar) do medidor. O tom poderá soar quando o multímetro ler uns poucos ohms, então ele não dará a você a acuidade necessária. Recalibre o multímetro, utilizando a configuração Ohms, para garantir a operação apropriada.

Operando Seu Multímetro

Quando você usa seu multímetro para testar e analisar circuitos, deve considerar qual configuração selecionar: se está testando componentes individualmente ou como parte de um circuito, se o circuito deve estar energizado ou não e onde posicionar as pontas de teste (em série ou em paralelo com relação ao que estiver testando).

Pense em seu multímetro como um componente eletrônico no seu circuito (porque, certamente, ele é). Se você quiser medir voltagem, seu medidor deve ser posicionado *em paralelo* com a seção a ser mensurada do circuito, porque voltagens em ramos paralelos de um circuito são iguais. Se você quiser medir corrente, seu medidor deve ser posicionado *em série* com a seção a ser mensurada do circuito, porque componentes em um circuito em série carregam a mesma corrente. Você pode ler sobre conexões em série e em paralelo no Capítulo 2.

As seções seguintes explicam exatamente como medir voltagem, corrente e resistência, utilizando um multímetro.

Medindo voltagem

Para examinar níveis de voltagem – isto é, a queda de tensão de um ponto do seu circuito ao terra – por todo o circuito, utilizando um multímetro, seu circuito deve estar energizado. Você pode testar a voltagem em quase qualquer ponto em um circuito, não apenas nas conexões da bateria. Veja aqui como medir as voltagens:

1. **Configure seu medidor, como descrito na seção já vista "Configurando seu multímetro".**
2. **Selecione o tipo de voltagem (AC ou DC).**
3. **Escolha a faixa que dê a maior sensibilidade.**
4. **Fixe a ponta preta do medidor na conexão terra do circuito.**
5. **Fixe a ponta vermelha do medidor ao ponto no circuito que você quer medir.**

   Isso coloca seu multímetro em paralelo com a queda de voltagem que você quer medir.

A Figura 12-5 mostra um exemplo do uso de um multímetro, para medir a voltagem de um par de pontos diferentes, em um simples circuito astável 555 (descrito no Capítulo 7), que produz uma série de pulsos de voltagem que, automaticamente, alterna entre baixo (0 V) e alto (a voltagem positiva de alimentação). O multímetro é definido para volts DC em uma faixa de 0-20V. Na imagem de cima, o medidor está indicando a voltagem que energiza o circuito inteiro, então o multímetro lê 9 V. Na imagem de baixo, o medidor está indicando a voltagem na saída do CI timer 555. Como a saída do CI timer 555 alterna entre alto e baixo, a saída do medidor alternará entre 0 V e 9 V (a tensão de alimentação positiva).

Dependendo dos valores dos resistores e capacitores nos circuitos timer 555, mostrados na Figura 12-5, a saída pode mudar tão rapidamente, que o seu multímetro pode não ser capaz de acompanhar a variação da voltagem. O Capítulo 7 explica como isso funciona. Para testar sinais que mudam rapidamente, você precisará de uma ponta lógica (apenas para sinais digitais) ou um osciloscópio. Mais sobre ambos esses instrumentos de teste, no Capítulo 13.

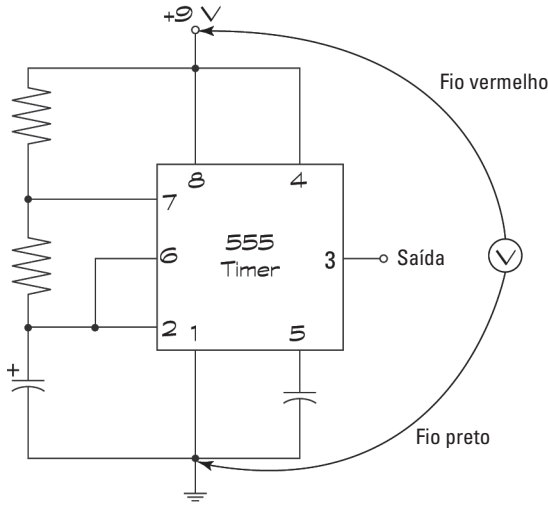
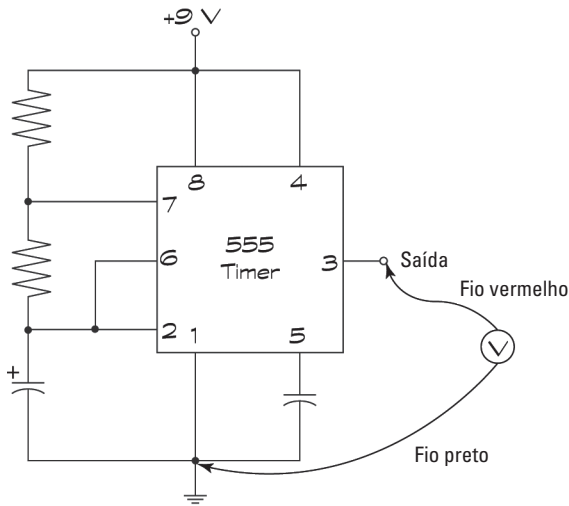



Figura 12-5: Medindo duas voltagens diferentes de um circuito com CI timer 555.

Medindo corrente

Quando você utiliza o multímetro como um amperímetro, você conecta o medidor *em série,* com o componente cuja corrente você quer medir, de forma que a mesma passe pelo medidor. Essa configuração, mostrada na Figura 12-6, é muito diferente da configuração de voltímetro:

1. **Configure seu medidor como descrito na seção já vista, "Configurando seu multímetro".**
2. **Selecione o tipo de corrente (AC ou DC).**
3. **Escolha a faixa que dê a maior sensibilidade.**
4. **Interrompa o circuito no ponto onde você quer medir a corrente: Fixe a ponta preta do medidor ao lado mais negativo do circuito e a ponta vermelha ao lado mais positivo.**

   Isso coloca seu multímetro em série com o componente, cuja corrente você quer medir.

   Certifique-se de que o circuito esteja energizado. Se você não conseguir uma medida, tente reverter as conexões das pontas ao multímetro.

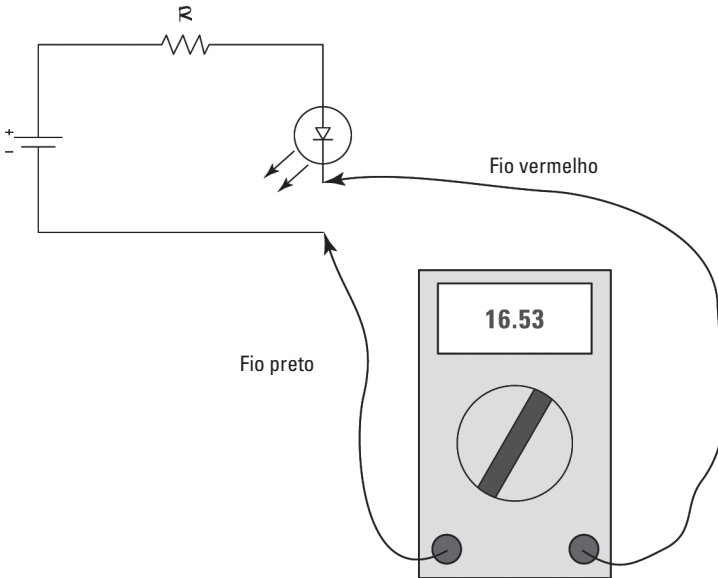



Figura 12-6: Medir corrente envolve conectar o medidor em série com o circuito ou componente.

Para medir quanta corrente o circuito inteiro puxa, você insere as pontas do seu medidor em série com a fonte de energia positiva. Mas lembre-se de que muitos multímetros digitais são limitados a testar correntes de até 200 mA ou menos. Seja cuidadoso: não teste correntes maiores se seu medidor não estiver equipado para isso.

Nunca deixe seu multímetro em uma posição de amperímetro depois de medir as correntes. Você pode danificar o medidor. Adquira o hábito de desligar o multímetro imediatamente após executar um teste de corrente.

Não queime o fusível!

Muitos medidores analógicos e digitais fornecem uma entrada separada (receptáculo para ponta de teste) para testar corrente, normalmente marcada como A (de amperes) ou mA (para miliamperes). Alguns multímetros fornecem uma entrada adicional para testar altas correntes, normalmente até uns 10 amperes. O multímetro mostrado na Figura 12-3 possui duas entradas para testar corrente, rotuladas de mA e 10A.

Tenha certeza de selecionar a entrada apropriada antes de fazer qualquer medida de corrente. Esquecer de fazer isso pode queimar um fusível (se você tiver sorte) ou danificar seu medidor (se não tiver tanta sorte assim).

Medindo resistência

Você pode fazer diversos tipos de testes diferentes, usando seu multímetro como um ohmímetro, que mede resistências. Obviamente, você pode testar resistores para verificar seus valores ou ver se eles foram danificados, mas você também pode examinar capacitores, transistores, diodos, interruptores, fios e outros componentes, utilizando seu ohmímetro. Antes de medir resistências, certifique-se de calibrar seu ohmímetro (como descrito anteriormente, na seção “Configurando seu multímetro”).

Se o seu multímetro tiver características específicas para testar capacitores, diodos ou transistores, recomendamos que utilize essas características em vez dos métodos, que ensinaremos nas seções seguintes. Mas se você tiver um multímetro simples sem essas características, esses métodos podem realmente lhe ajudar.

Testando resistores

Resistores são componentes que limitam a corrente, atravessando um circuito. Veja o Capítulo 3 para detalhes. Algumas vezes você necessita verificar se o valor nominal de resistência marcado no corpo de um resistor é acurado, ou pode querer investigar se um resistor de aparência suspeita, com um centro estufado e queimaduras de terceiro grau, ficou ruim.

Para testar um resistor com um multímetro, siga estes passos:

1. **Desligue a energia antes de tocar no circuito, e então desconecte o resistor que desejar testar.**
2. **Configure seu multímetro para ler ohms.**

   Se você não tiver um medidor autoajustável, comece em uma faixa grande e troque para faixas menores, se necessário.
3. **Posicione as pontas de teste em cada lado do resistor.**

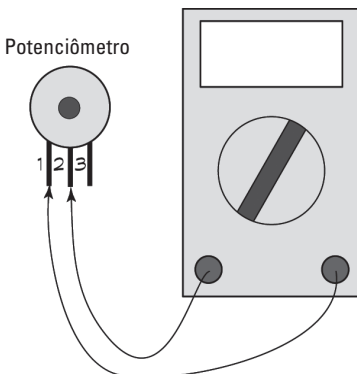
Tome cuidado para não deixar seus dedos tocarem as pontas de metal das ponteiras de teste ou os terminais do resistor. Ao tocá-los, você adiciona a resistência do seu corpo à leitura, produzindo um resultado inacurado.

A leitura da resistência deve cair dentro da faixa de tolerância do valor nominal marcado no resistor. Por exemplo, se você testar um resistor com um valor nominal de 1kΩ e uma tolerância de 10%, sua leitura do teste deverá cair na faixa de 900 a 1.100 Ω. Um resistor ruim pode, tanto estar completamente aberto por dentro (nesse caso você deve obter uma leitura de infinitos Ω), como em curto (nesse caso você deve obter uma leitura de zero Ω).

Testando potenciômetros

Assim como com resistores, você pode testar um *potenciômetro* (também chamado *pot*) – que é um resistor variável – utilizando a configuração de Ohms no multímetro. Para mais informações sobre potenciômetros, veja o Capítulo 3. Aqui está como fazer o teste:

1. **Desligue a energia antes de tocar no seu circuito, e então remova o potenciômetro.**
2. **Posicione as pontas de teste em dois dos terminais do potenciômetro. Dependendo de onde você colocar as pontas, poderá esperar um desses resultados:**
   - Com as pontas de prova aplicadas a um dos pontos fixos (ponto 1) e ao *wiper*, ou ao terminal variável (ponto 2, como mostrado na Figura 12-7). Gire o pino do potenciômetro em uma direção, para aumentar a resistência, ou, gire na outra direção, para diminuí-la.
   - Com as pontas de prova do medidor aplicadas ao wiper (ponto 2) e ao outro ponto fixo (ponto 3), a variação de resistência oposta ocorrerá.
   - Se você conectar as pontas de prova do medidor a ambos os pontos fixos (pontos 1 e 3), a leitura que obterá deverá ser a resistência máxima do potenciômetro, não importando como você gire o pino.

Figura 12-7: Conecte as pontas de prova aos terminais: primeiro e central, central e terceiro, primeiro e terceiro do potenciômetro.

Ao girar o pino do potenciômetro, tome nota de quaisquer súbitas mudanças na resistência, o que pode indicar uma falha dentro do potenciômetro. Caso ache alguma dessas falhas, substitua o potenciômetro por um novo.

Testando capacitores

Você usa um *capacitor* para armazenar energia elétrica por um curto período curto de tempo. Para uma cobertura sobre capacitores, veja o Capítulo 4. Se seu multímetro não possuir uma característica para teste de capacitores, ainda assim poderá usá-lo na configuração de ohmímetro, para ajudá-lo a decidir se deve ou não, substituir um capacitor. Veja como:

1. **Antes de testar um capacitor, certifique-se de descarregá-lo, para retirar qualquer energia elétrica que tenha nele.**

   Grandes capacitores podem reter carga por longos períodos de tempo – mesmo após você remover a alimentação.

   Para descarregar um capacitor, você provoca um curto-circuito em seus terminais, através de um *bleeder jumper* isolado (como mostrado na Figura 12-8), que é simplesmente um fio com um grande resistor (1MΩ ou 2MΩ) preso a ele. O resistor previne o capacitor de entrar em curto, o que o deixaria inútil.

2. **Após descarregar o capacitor e remover o bleeder jumper, gire o seletor do seu multímetro para Ohms e toque os terminais do capacitor com as pontas de teste.**

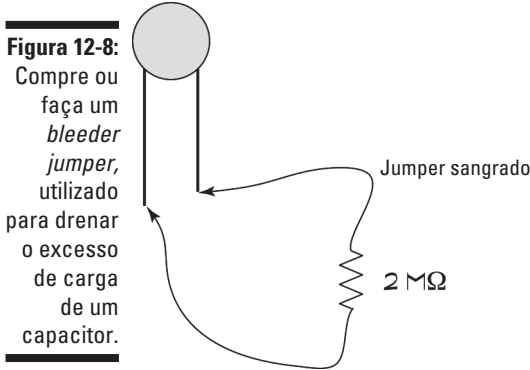
   Capacitores não polarizados não se importam com a maneira como você conecta as pontas, mas se estiver testando um capacitor polarizado, conecte a ponta preta ao terminal negativo e a ponta vermelha ao positivo. O Capítulo 4 explica como determinar a polaridade do capacitor.

3. **Espere um segundo e, então, anote a leitura.**

   Você obterá um desses resultados:

   - Um bom capacitor mostra uma leitura infinita, quando você realiza esses passos.
   - Uma leitura zero pode significar que o capacitor está em curto.
   - Uma leitura entre zero e infinito pode ser um indicativo de um capacitor vazante, que perde a habilidade de reter carga.

Esse teste não informa se o capacitor está aberto, mas isso pode acontecer se o componente ficar estruturalmente danificado por dentro, ou se seu *dielétrico* (material isolante) secar ou vazar. Um capacitor aberto lê infinito, assim como um bom capacitor. Para um teste conclusivo, use um multímetro com uma função de teste de capacitor.

Figura 12-8: Compre ou faça um *bleeder jumper,* utilizado para drenar o excesso de carga de um capacitor.

Testando diodos

Um *diodo* é um componente semicondutor, que age como um valor de corrente de mão única. Para obter detalhes sobre diodos, veja o Capítulo 6. Se seu multímetro não possuir um testador de diodos, você pode usar a configuração de Ohms, para testar a maioria dos tipos de diodos. Siga os seguintes passos:

1. **Configure o medidor para uma faixa de valores baixos de resistência.**
2. **Conecte a ponta preta ao cátodo (lado negativo, com uma faixa) e a ponta vermelha ao ânodo (lado positivo).**

   O multímetro deve exibir uma resistência baixa.
3. **Então, reverta as pontas, e você obterá uma leitura de resistência infinita.**

Se você não estiver certo sobre qual é o positivo e qual o negativo no seu diodo, poderá usar o seu multímetro para identificar o ânodo e o cátodo. Faça os testes de resistência com as pontas conectadas de uma maneira, e depois da outra. Para a menor das duas leituras de resistência, a ponta vermelha é conectada ao ânodo e preta ao cátodo.

Testando transistores

Um *transistor bipolar* é essencialmente, como dois diodos em um só pacote, como ilustrado na Figura 12-9. Para um transistor PNP, ambos os diodos estão invertidos. Se seu multímetro não tiver nem um verificador de transistores, nem de diodos, você pode usar a configuração de Ohms para testar a maioria dos transistores bipolares, de maneira parecida com a do teste dos diodos: você coloca seu medidor em uma faixa de resistência baixa e testa cada diodo, dentro do transistor, de cada vez.

Se estiver testando um transistor NPN (tal como o mostrado na Figura 12-9), siga os seguintes passos:

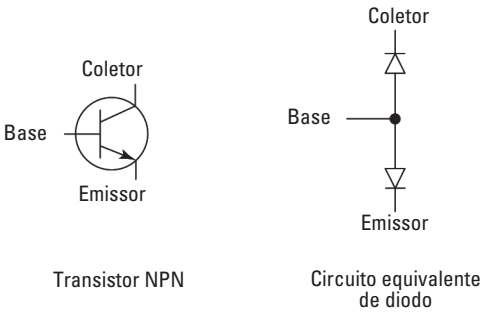
1. **Coloque seu medidor em uma faixa de baixos valores de resistência.**
2. **Conecte a ponta preta ao coletor do transistor e a ponta vermelha à base.**

   O multímetro deverá exibir uma voltagem baixa.
3. **Reverta as pontas.**

   Você deverá ler uma resistência infinita.
4. **Conecte a ponta preta ao emissor e a ponta vermelha à base.**

   O medidor deverá exibir uma resistência baixa.
5. **Reverta as pontas.**

   O medidor deverá exibir resistência infinita.

Figura 12-9: Um transistor bipolar é como dois diodos em um só pacote.

Para um transistor PNP, as leituras devem ser o oposto do que são para um transistor NPN.

Use esse teste *apenas* com transistores bipolares. Testar com um multímetro poderá danificar permanentemente alguns tipos de transistores, especialmente transistores de efeito de campo (FETs). Se não estiver certo do tipo de transistor que você tem, olhe na folha de dados, antes de testá-lo. Você pode frequentemente encontrar folhas de dados, procurando na internet pelo número de identificação do componente (por exemplo, busque “2n3906 datasheet”).

Testando fios e cabos

Você pode usar seu multímetro como um ohmímetro para fazer testes de continuidade em fios e cabos. Pode querer fazer isso para farejar quebras dentro dos fios e *curto-circuitos*, ou continuidade não desejada, entre dois fios em um cabo.

Até os fios resistem ao fluxo de elétrons

Por que não é sempre que você consegue e 0 Ω quando testa um fio, especialmente um fio longo? Todos os circuitos elétricos exibem alguma resistência ao fluxo de corrente; a medida de ohms testa essas resistências. Mesmo pequenos comprimentos de fios possuem resistência, mas é usualmente bem abaixo de 1 Ω, de forma que este não é um assunto importante para testes de continuidade e curtos. Entretanto, quanto maior o fio, maior a resistência – especialmente se o fio tiver um diâmetro pequeno. Usualmente, quanto mais largo o fio, menor a resistência por metro. Mesmo que o medidor não leia exatamente 0 Ω, você pode assumir nesse caso, uma continuidade, mesmo se obtiver uma leitura de poucos ohms.

Para testar continuidade em um fio simples, você conecta as pontas de teste do multímetro às pontas do fio e seleciona, na configuração Ohms, uma faixa de valores baixos. Você deve obter uma leitura de 0 Ω, ou um número de ohms muito baixo, caso contrário pode provocar um curto-circuito entre os fios.

Para testar se há um curto-circuito entre fios diferentes que não deveriam estar eletricamente conectados, você coloca o multímetro em ohms e conecta uma das pontas de teste a uma extremidade do fio exposto e a outra ponta de teste a uma extremidade exposta do outro fio. Se você obtiver uma leitura de 0 Ω, ou um número baixo de ohms, você pode estar com um curto entre os fios. Uma leitura alta usualmente significa que seus fios não estão em curto, juntos. Note que você pode obter uma leitura diferente de infinito se os fios ainda estiverem conectados ao seu circuito, quando fizer a medida. Fique tranquilo, porque seus fios não estão em curto, a menos que obtenha uma leitura muito baixa ou zero.

Testando interruptores

Interruptores mecânicos podem ficar sujos e desgastados, ou algumas vezes até quebrarem, deixando-os não confiáveis, ou mesmo completamente incapazes de passar corrente elétrica.

O Capítulo 8 descreve quatro tipos comuns de interruptores: polo único throw único (SPST), polo único throw duplo (SPDT), polo duplo throw único(DPST) e polo duplo throw duplo (DPDT). Dependendo do interruptor pode haver zero, uma ou duas posições “off”, e pode haver uma ou duas posições “on”.

Você pode usar seu multímetro em Ohms para testar qualquer um desses interruptores. Certifique-se de se familiarizar com as posições on/off e as conexões dos terminais do interruptor em particular, que está testando – e faça testes para cada possibilidade. Com suas pontas de teste conectadas aos terminais de qualquer combinação de entrada/saída posicionada em “off”, o medidor lerá infinitos ohms; a posição “on” dará uma leitura de 0 Ω.

Você pode testar mais facilmente os interruptores, tirando-os do circuito. Se o interruptor estiver conectado a um circuito, o medidor pode não mostrar infinitos ohms, quando o interruptor estiver posicionado em “off”. Se, em vez disso, você obtiver uma leitura de algum valor diferente de 0 Ω, poderá considerar que o interruptor está funcionando apropriadamente, como um circuito aberto, quando ele estiver na posição “off”.

Testando fusíveis

Fusíveis são projetados para proteger circuitos eletrônicos de dano causado por fluxo excessivo de corrente e, o mais importante, prevenir um incêndio se um circuito superaquecer. Um fusível estourado é um circuito aberto que não mais fornece proteção, então ele deve ser trocado. Para testar um fusível, coloque seu multímetro na posição Ohms e toque uma ponta de teste em cada lado do fusível. Se o medidor ler infinitos ohms, significa que você tem um fusível queimado.

Fazendo outros testes com o multímetro

Muitos multímetros digitais incluem funções extras que testam componentes específicos, como capacitores, diodos e transistores. Esses testes fornecem resultados mais definitivos do que as medidas de resistência que discutimos anteriormente nesta seção.

Se seu multímetro tiver um testador de capacitor, ele irá exibir o valor do capacitor. Isso pode realmente ser de grande ajuda, porque nem todos os capacitores seguem o esquema de identificação padrão da indústria. Procure, no manual do seu multímetro, pelo procedimento exato, porque os detalhes específicos mudam de modelo para modelo. Confira a polaridade apropriada ao conectar o capacitor aos pontos de teste no medidor.

Se o multímetro tiver um testador de diodo, você pode testar, colocando a ponta de teste vermelha no ânodo (terminal positivo), e a ponta de teste preta no cátodo (terminal negativo). Você deve ter uma leitura muito baixa, mas não zero (por exemplo, 0,5). Então, reverta as pontas para obter uma leitura fora de escala. Se obtiver duas leituras zero ou duas leituras fora de escala, possivelmente seu diodo está ruim (isto é, em curto ou aberto).

Você pode usar o testador de diodos para testar transistores de junção bipolar, tratando-os como se fossem dois diodos individuais, como mostrado na Figura 12-9.

Se seu multímetro possuir um testador de transistores, siga o procedimento pelo manual, que varia de um modelo para outro.

Utilizando um Multímetro para Verificar Seus Circuitos

Um dos principais benefícios de um multímetro é que ele pode ajudar você a analisar o que está certo e errado nos seus circuitos. Ao utilizar as diferentes configurações de teste, poderá verificar a viabilidade dos componentes individuais e confirmar que as voltagens e correntes são o que elas deveriam ser. Mais cedo ou mais tarde, você vai fazer um circuito que não funcionará logo de início – mas seu multímetro poderá ajudá-lo a identificar o problema, caso não consiga, verificando fisicamente todas as conexões.

Para depurar seu circuito, você deve, em primeiro lugar, marcar seu diagrama de circuito com os valores dos componentes, valores estimados de voltagem nos vários pontos do circuito, e valores esperados de corrente em cada ramo do circuito. Frequentemente o processo de marcar o diagrama mostra um ou dois erros matemáticos. Então use seu multímetro para testar os pontos.

Aqui está uma lista rápida de itens a serem verificados ao depurar seu circuito:

- Verifique as voltagens de alimentação.
- Verifique a funcionalidade e os valores reais dos componentes individuais (fora do circuito).
- Verifique a continuidade da fiação.
- Verifique os níveis de voltagem nos vários pontos do circuito.
- Verifique os níveis de corrente de parte do circuito (sem exceder as capacidades de corrente do seu multímetro).

Ao utilizar um procedimento passo a passo, você pode testar os vários componentes e partes do seu circuito e afunilar a lista de suspeitos, até descobrir a causa do problema no seu circuito, ou admitir que precisa de ajuda profissional – do seu guru em eletrônica.

Capítulo 13

Aprofundando-se com Osciloscópios e Sondas Lógicas

Neste Capítulo:

- Testando circuitos digitais com sondas lógicas
- Viajando nos sinais de onda, com um osciloscópio
- Reconhecendo quando você precisa – e quando não precisa – de um osciloscópio
- Configurando seu osciloscópio para poder visualizar sinais de circuito
- Utilizando um osciloscópio para medir (aproximadamente) a frequência do sinal

O Capítulo 12 fala sobre como utilizar um multímetro para testar toda sorte de detalhes nos seus circuitos eletrônicos. Seu multímetro é a mais importante ferramenta na sua bancada de trabalho, mas não pense que ele é a única coisa que você pode utilizar para testar suas coisas de eletrônica. Se você realmente estiver falando sério sobre eletrônica, pode ser que queira obter outras ferramentas de teste para a sua bancada de trabalho.

Este capítulo introduz você a duas ferramentas adicionais – a sonda lógica e o osciloscópio – e como elas podem fazer com que você se torne um solucionador de problemas eletrônicos mais eficiente. Nenhuma delas é "obrigatória" quando você for apenas um iniciante, mas na medida em que você progride para níveis intermediários e avançados de eletrônica, considere a adição delas à sua bancada de trabalho.

Sondando as Profundezas da Lógica

Uma *sonda lógica* (*logic probe*) como a mostrada na Figura 13-1 – uma ferramenta razoavelmente barata – é especificamente projetada para testar circuitos digitais que lidam apenas com dois níveis de voltagem:

- **Baixo** (zero V ou perto disso), indicando 0 (zero) lógico.
- **Alto** (12 V ou menos, mais frequentemente 5 V), indicando 1 (um) lógico.

Você pode ler tudo sobre lógica digital no Capítulo 7. A sonda lógica simplesmente verifica sinais altos e baixos e liga um diferente LED indicador, dependendo do sinal que ela consiga detectar. Um terceiro LED indicador brilha quando a sonda lógica detecta *pulsante*, que é quando um sinal alterna entre alto e baixo, muito rapidamente. A maioria das sondas lógicas também inclui uma característica sonora, de forma que você possa ouvir os altos e baixos, enquanto mantém os olhos no circuito.

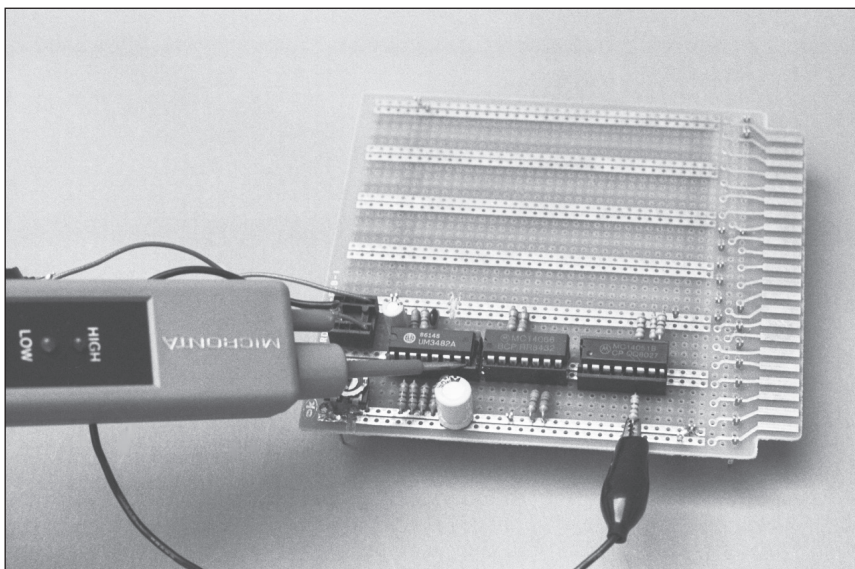



Figura 13-1: A sonda lógica é útil para depurar circuitos digitais.

Claro que você pode sempre utilizar seu versátil multímetro para testar circuitos digitais – você apenas tem que traduzir as leituras de voltagem nos estados lógicos – mas há uma grande vantagem ao se utilizar a sonda lógica. Se seu circuito estiver ruim e não houver sinal no ponto que você estiver testando, o multímetro pode fazer uma leitura de zero volt, que você pode interpretar como um sinal baixo (0 lógico). Se você usar a sonda lógica em um circuito ruim, e não houver nenhum sinal, nenhuma das luzes da sonda se acenderá e a sonda não fará nenhum som. Entretanto, isso pode indicar que a sonda está conectada incorretamente.

Sondas lógicas recebem energia do circuito que está sendo testado. A maioria das sondas trabalha com uma voltagem de alimentação mínima de 3 V e uma máxima, de não mais do que 15 V (algumas vezes mais, outras menos). Verifique o manual para ver a exata faixa de voltagens de sua sonda lógica, certifique-se de saber se a voltagem de alimentação do circuito fica dentro da faixa aceitável pela sonda lógica. Voltagens excedendo o máximo podem danificar a sonda lógica.

Seja extremamente cuidadoso sobre segurança, ao utilizar uma sonda lógica. É um testador para circuitos ativos, projetado para operar em circuitos que estejam energizados. Mantenha seus dedos longe do metal, da ponta da sonda e das pontas de testes. Tome especial cuidado, se estiver testando um circuito (tal como um aparelho de DVD disfuncional) que trabalhe a partir de AC e que você precise expor os componentes de alimentação para realizar o teste. Sempre considere que possa ficar exposto a voltagens perigosamente altas quando remover a cobertura de qualquer equipamento AC; tenha certeza de cobrir o equipamento com plástico isolante para prevenir choques acidentais.

Uma sonda lógica possui quatro conexões, como pode ver na Figura 13-2, três das quais são terminais com garras jacaré e uma é a sonda propriamente dita. Para utilizar a sonda, você precisa dessas quatro conexões:

1. **Ligue o terminal preto de energia ao terra do circuito.**
2. **Ligue o terminal vermelho de energia à voltagem de alimentação do circuito.**

   Certifique-se de que a alimentação não exceda a voltagem máxima (usualmente uns 15 V) especificada para uma sonda lógica, ou você pode danificar a sonda.
3. **Ligue o segundo terminal preto (terra) ao terra do circuito.**

   Esse terra separado é importante; se você falhar ao conectar, de forma segura, a sonda ao terra do circuito, essa poderá gerar resultados não satisfatórios – ou simplesmente não funcionar.
4. **Coloque a ponta da sonda na parte do circuito que está testando.**

Para verificar se você conectou a sonda lógica corretamente, poderá sempre tocar com a ponta da sonda na fonte de energia do circuito. Esta deverá indicar um valor alto. Depois, toque com a ponta da sonda no terra do circuito; deverá indicar um valor baixo. Se um dos testes, ou ambos, falharem, examine a conexão da sonda ao circuito e faça as correções necessárias.

Depois de fazer as conexões, os indicadores luminosos e audíveis (na maioria dos modelos) irão ajudá-lo a determinar o nível lógico no ponto de teste:

- **Um indicador baixo** (e baixo som de campainha) lhe diz que o ponto de teste tem um baixo lógico (0 V ou perto disso).
- **Um indicador alto** (e alto som de campainha) lhe diz que o ponto de teste tem um alto lógico (usualmente 5 V ou perto disso).
- **Uma rápida alternância entre indicadores altos e baixos** significa que o sinal lógico está pulsando (mudando rapidamente entre alto e baixo). A maioria das sondas tem um indicador separado para dizer a você quando um circuito está pulsando, e algumas até geram uma campainha intermitente.
- **Nenhum indicador** diz a você que o ponto de teste não possui um sinal discernível, seja ele alto, baixo ou pulsante.

Por que nem todos os circuitos gostam de sondas lógicas?

A maioria dos equipamentos de teste, incluindo o multímetro e o osciloscópio, puxa muito pouca corrente do circuito que você está testando. Seus criadores projetaram essas ferramentas de teste desse jeito, para que as próprias ferramentas não influenciassem a leitura. Obviamente, não seria útil testar um circuito, se a ferramenta de teste mudasse o comportamento do circuito. Você não conseguiria um resultado confiável.

Sondas lógicas não apenas retiram potência do circuito, como elas também podem gerar carga na linha de sinal que você está testando. A carga adicional da sonda lógica pode fazer com que alguns dos sinais digitais mais fracos percam tensão, até o ponto de não poder mais conseguir uma leitura acurada.

Apesar dessa situação não acontecer tão frequentemente, é um bom exemplo para que saiba por que você precisa estar familiarizado com o circuito que estiver testando. Apenas saiba que colocar a sonda em território desconhecido pode gerar resultados imprevisíveis.

Tenha certeza de ler o manual ou livreto de instruções que vem com sua sonda lógica para pontos, precauções, senões, avisos e dicas de operação adicionais. Apesar de muitas sondas lógicas serem similares em *design*, pequenas diferenças podem influenciar os tipos de circuitos com os quais uma sonda em particular funciona melhor.

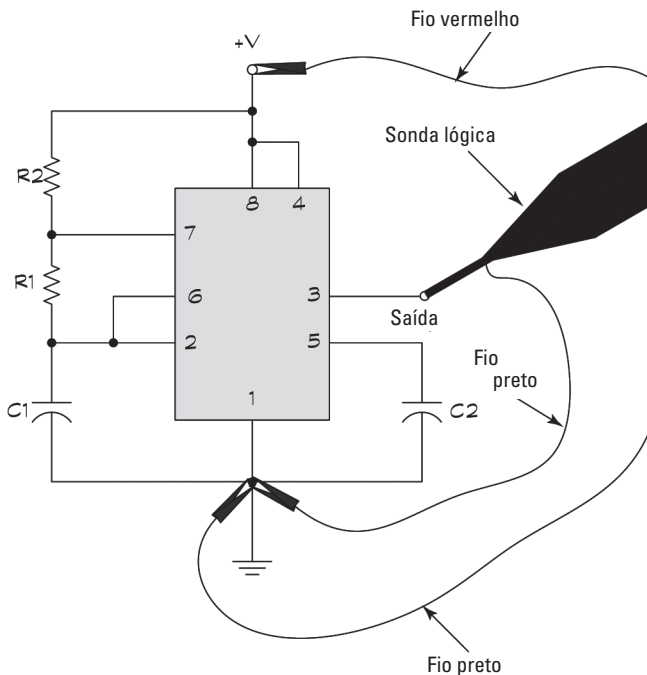



Figura 13-2: A sonda lógica requer quatro conexões com o circuito.

Além dos sinais de saída alto e baixo, alguns circuitos lógicos integrados possuem um terceiro estado chamado *Hi-Z*, ou *alta impedância*. Em termos simples, ter esse terceiro estado permite que você conecte um monte de saídas juntas, com apenas uma estando ativa (ou habilitada) por vez. As saídas restantes ficam em seus estados Hi-Z, o que as torna essencialmente invisíveis para a saída habilitada. O circuito apenas utiliza uma saída, alta ou baixa, por vez. As outras saídas são postas para dormir em seus estados Hi-Z e são ativadas em seus momentos apropriados.

Investigando Sinais com um Osciloscópio

Para o hobbista de eletrônica amador médio que trabalha em casa ou na escola, o osciloscópio é uma boa ferramenta para se ter por perto, mas não é completamente necessária. Um *osciloscópio* é um equipamento de teste (razoavelmente caro), que exibe como a voltagem varia com o tempo na forma de um traço ao longo de um *display* de tubo de raios catódicos (CRT) ou de outro tipo.

Alguns magos da eletrônica podem usar parte de um ou dois salários para comprar um osciloscópio de bancada como o mostrado na Figura 13-3, mas por um preço mais modesto você pode comprar um osciloscópio portátil à bateria, com um *display* de cristal líquido. Você não terá as características avançadas dos melhores osciloscópios de bancada, mas ainda assim será capaz de observar a variação dos sinais ao longo do tempo – algo que seu multímetro simplesmente não pode fazer. Outra opção é gastar uma boa quantidade de dinheiro em um osciloscópio baseado em PC, que usa seu computador pessoal para armazenar e exibir os sinais elétricos que você mediu. A maioria dos osciloscópios baseados em PC são autocontidos em um pequeno módulo externo que conecta ao PC ou *laptop* através de uma porta paralela, serial ou USB.

Você pode encontrar um ótimo negócio em osciloscópios de bancada usados no eBay – se quiser correr o risco.

Observando os altos e baixos da voltagem

Os osciloscópios dão a você uma representação visual de um sinal elétrico. O eixo vertical indica a quantidade de voltagem (também chamada *amplitude*), e o eixo horizontal representa o tempo. Lembra-se dos gráficos de equação das aulas de matemática? Bem, a exibição em um osciloscópio mostra exatamente esses gráficos. A varredura dos osciloscópios é sempre da esquerda para a direita, então você lê a linha de tempo do sinal da esquerda para a direita, assim como você lê uma linha de português em uma página.

O sinal que você observa em um osciloscópio é uma *forma de onda*. Algumas formas de onda são simples, outras complexas. Introduzimos o conceito de forma de onda no Capítulo 2. A Figura 13-3 mostra as quatro formas de onda mais comuns que você encontra em eletrônica:

- **Forma de onda DC (corrente contínua)**: Uma linha plana e reta, como a que vê aqui.
- **Forma de onda AC (corrente alternada)**: Essa forma de onda, ondula ao longo do tempo. A mais comum forma de onda AC é a onda senoidal (veja o Capítulo 2 para mais sobre ondas senoidais), mas você pode também encontrar ondas triangulares, ondas dente de serra, e outros formatos de onda AC.
- **Forma de onda digital**: Sinal DC que alterna entre 0 V (baixo, indicando 0 lógico) e alguma voltagem predeterminada (alto, indicando 1 lógico). O circuito digital interpreta o tempo e o espaçamento dos sinais altos e baixos. Você pode ler mais sobre sinais digitais no Capítulo 7.
- **Forma de onda de pulso**: Forma de onda que mostra uma súbita mudança entre os estados alto e baixo de um sinal. A maioria das formas de onda de pulso é digital e usualmente serve como um sinal de tempo, como o disparo de início em uma corrida. O CI timer 555 que descrevemos no Capítulo 7 pode ser configurado para operar como um *one shot*, produzindo um pulso simples, que dispara outras partes do circuito para gerar ainda mais sinais.

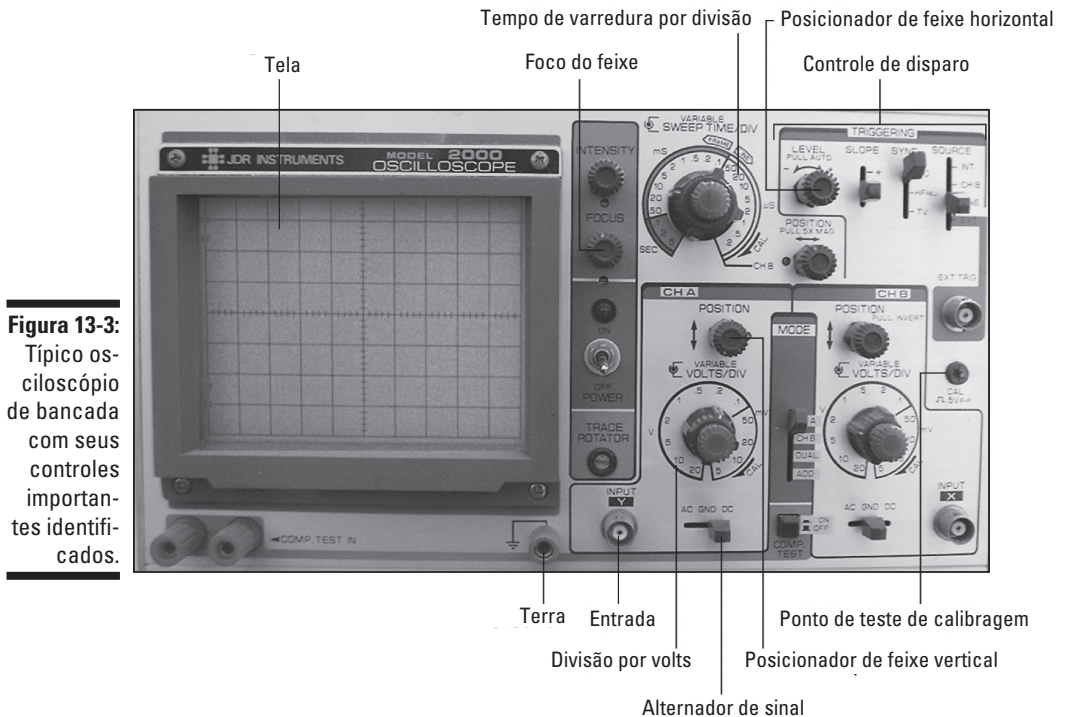



Figura 13-3: Típico osciloscópio de bancada com seus controles importantes identificados.

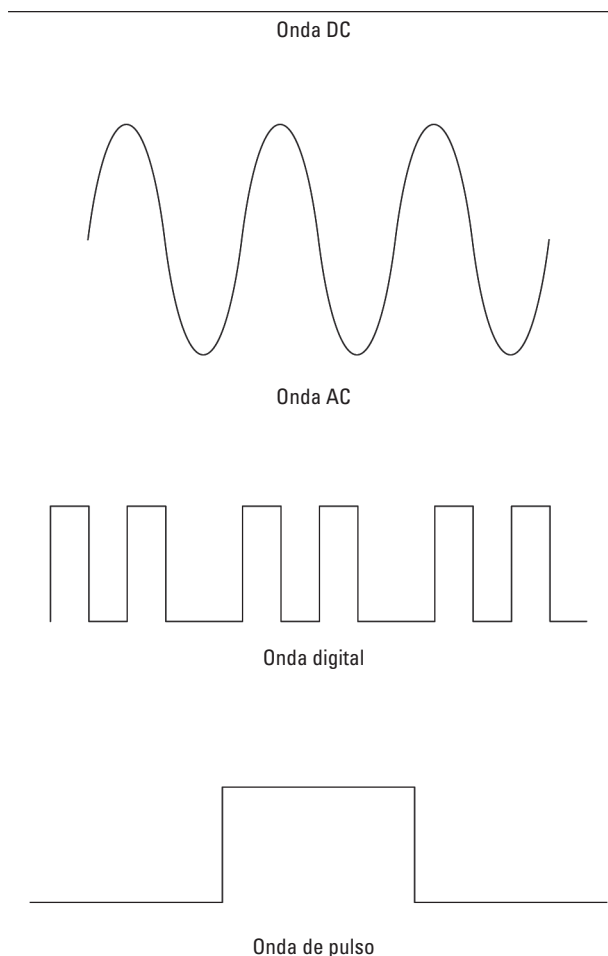



Figura 13-4: Quatro formas de ondas comuns.

A Figura 13-5 mostra com o que se parece uma forma de onda AC na tela de um osciloscópio. O *display* possui uma grade para ajudar você a medir o tempo ao longo do eixo X (horizontal) e a voltagem ao longo eixo Y (vertical). Usando os seletores no painel frontal, você seleciona a escala da voltagem (por exemplo, 5V/divisão) e o *tempo de varredura* – *sweep time* (por exemplo, 10ms/divisão, onde ms são milissegundos, milésimos de segundo) do *display*. Ao ajustar essas configurações, você vê a exibição da voltagem mudar proporcionalmente. Você pode ler o nível de voltagem num determinado tempo, verificando a posição da voltagem na grade e multiplicando pela escala de voltagem que você selecionou.

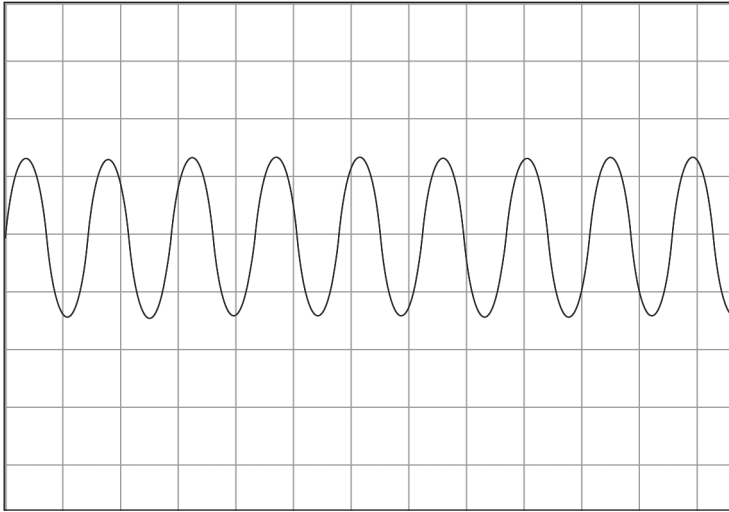



Figura 13-5: O osciloscópio exibe graficamente as mudanças em um sinal elétrico.

A posição vertical (amplitude) de uma forma de onda DC dá a você o valor da voltagem DC. Para sinais AC, o *display* do osciloscópio possibilita que determine os níveis de voltagem assim como a Frequência (o número de ciclos por segundo). Se você contar o número de divisões horizontais que um ciclo completo ocupa na tela, e multiplicar pela escala de tempo (por exemplo, 10 ms/divisão), você consegue o *período*, *T*, do sinal (o tempo que leva para completar um ciclo). A frequência, f, é o inverso do período; a fórmula para f se parece com isso: $f = 1/T$ (Para mais detalhes, vá para a seção "Testando a frequência de um circuito AC", mais à frente neste capítulo).

Entendendo a resolução e a largura de banda do osciloscópio

Uma das mais importantes especificações para osciloscópios é a largura de banda (bandwidth). *Largura de banda*, medida em megahertz (MHz), é o sinal de frequência mais alta que você pode confiavelmente testar com seu osciloscópio. A largura de banda média de um osciloscópio de bancada mais barato fica na faixa de 20-35 MHz, o que é suficiente para todas as aplicações com exceção das que demandem mais. Depuração especializada e reparo, tal como trabalho com computadores e equipamento de ultra-alta frqüência, pode necessitar de larguras de banda que excedam os 100 Mhz – o que você pode encontrar nos osciloscópios mais caros. Osciloscópios baseados em PC tendem a ter as menores larguras de banda, usualmente 5-10 MHz. Essas larguras de banda são suficientes para muitas tarefas, de trabalhos com circuitos para *hobby* até serviços em equipamentos de áudio.

Algumas características avançadas que você deveria conhecer

Os osciloscópios avançaram muito com o passar dos anos, com muitas características e capacidades adicionadas. Apesar de você não precisar necessariamente de qualquer das seguintes características para testes de rotina, poderá achá-las úteis na medida em que for ganhando experiência. Dentre as mais úteis estão:

- **Atraso de Varredura (delayed sweep)**: Ao analisar uma pequena porção de um sinal complexo e longo, esta característica ajuda porque você pode dar um *zoom* em uma porção do sinal e examiná-la. Isto é ideal quando você trabalha com sinais de televisão.
- **Armazenamento digital (digital storage)**: Esta característica registra sinais em memória computadorizada para uso posterior. Após tê-lo em memória, você pode expandir o sinal e analisar poções específicas; novamente, é útil em trabalho com televisão. O armazenamento digital também deixa você comparar sinais, mesmo que faça as medidas em tempos diferentes.

Como você já deve ter imaginado, essas características podem aumentar o custo do osciloscópio. Faça um balanço entre o custo extra e a sua utilidade.

A maioria dos osciloscópios tem uma *resolução*, ou acurácia, de 0,5μs (isso corresponde a microssegundos, ou milionésimos de segundos) ou mais rápida. Você pode ajustar o tempo de varredura de forma que teste os sinais de eventos que ocorrem em um longo período de tempo, usualmente tão longos quanto meio segundo ou um segundo. Note que a tela pode exibir sinais de eventos mais rápidos do que 0,5 μs, mas um sinal tão pequeno pode aparecer como um breve *glitch* ou um pico de voltagem.

A sensibilidade de um osciloscópio indica a voltagem por divisão no eixo-Y. A menor sensibilidade à voltagem da maioria dos osciloscópios de preço médio fica na faixa entre 5 mV (isto é milivolts, ou milésimo de volt) até 5 V. Você gira um seletor para definir a sensibilidade que quiser. Quando você coloca o seletor em 5 mV, cada divisão na grade do osciloscópio representa uma diferença de 5 mV. Níveis de voltagem menores do que 5 mV podem aparecer, mas você não pode medi-los acuradamente. A maioria dos osciloscópios mostra níveis muito pequenos de voltagem (na faixa dos microvolts) como uma pequena ondulação.

Sabendo Quando Utilizar um Osciloscópio

Quando você estiver testando níveis de voltagem, frequentemente usará multímetros e osciloscópios de maneira intercambiável. A escolha de qual ferramenta utilizar é sua, apesar de que para procedimentos rotineiros de teste, você pode achar o multímetro um pouco mais fácil. Em geral, você pode optar por usar um osciloscópio para:

- **Determinar visualmente se um sinal AC ou digital tem o tempo apropriado**. Por exemplo, você frequentemente necessita desse teste quando depura equipamento de rádio ou televisão. Os manuais de serviço e esquemas para esses dispositivos frequentemente mostram a forma de onda esperada no osciloscópio em vários pontos no circuito para que você possa comparar. É bem útil!

- **Testar sinais pulsantes que mudam rápido demais para que uma sonda lógica detecte**. Geralmente esses são sinais que mudam mais rápido do que umas cinco milhões de vezes por segundo (5 MHz).
- **Visualmente testar a relação entre dois sinais**, quando estiver utilizando um *osciloscópio de duplo traço*, um osciloscópio com dois canais de entrada. Você pode, por exemplo, precisar fazer isso quando estiver trabalhando em alguns circuitos digitais. Com frequência um sinal dispara o circuito para gerar outro sinal. Ser capaz de ver ambos sinais juntos ajuda a determinar se o circuito está funcionando como deveria.
- **Testar voltagens**, se o osciloscópio estiver à mão; mas você pode usar seu multímetro para testar voltagens também.

Em vez de usar seu osciloscópio para todo teste, será melhor utilizar o multímetro para o seguinte:

- Testar a resistência de um circuito.
- Determinar se um fio ou outra parte de um circuito está com curto-circuito (resistência 0 Ω) ou aberta (resistência de infinitos Ω)
- Medir corrente.
- Testar voltagens e vários componentes, tais como capacitores e transistores.

Fazendo Seu Osciloscópio Funcionar

Um osciloscópio é um equipamento bem complicado. Para entender corretamente seu uso apropriado, leia o manual de instruções que vem com ele – ou um livro dedicado ao assunto. Esta seção dá a você apenas uma rápida visão geral para começar. Você pode querer visitar um dos *sites* sobre eletrônica mencionados no Apêndice N.T. Os *sites* estão em inglês; muitos *sites* fornecem tutoriais sobre o uso do osciloscópio.

Configuração básica e testes iniciais

Antes de você usar seu osciloscópio para qualquer teste real, configure seus controles para uma posição normal ou neutra. Então você calibra o osciloscópio, utilizando o ponto de teste interno, para ter a certeza de que ele está funcionando corretamente.

Veja a Figura 13-3, anteriormente neste capítulo, para identificar os vários botões e seletores no seu osciloscópio, na medida em que você passar por esses passos. Lembre-se de que seu osciloscópio pode parecer um pouco diferente, e seus controles e botões podem ter nomes um pouco diferentes. Aqui estão os passos para configurar seu osciloscópio:

1. **Ligue o osciloscópio.**

   Se ele for da variedade CRT de bancada, dê um tempo para o tubo se aquecer. Você pode ou não ver um ponto ou linha na tela.

2. **Configure o seletor de Sweep Time/Division (Tempo de Varredura/Divisão) para 1 ms.**

   Esta configuração é um bom valor médio para calibração inicial.

3. **Configure o seletor de Volts/Division (Volts/Divisão) para 0,5 V.**

   Esta configuração é também um bom valor médio para usar na calibração inicial quando você estiver testando circuitos DC de baixa voltagem.

4. **Defina o controle Trigger Level como Automatic (ou no meio, se ele não possuir uma configuração Automatic). Selecione AC Sync e Internal Sweep (Sincronia AC e Varredura Interna, respectivamente).**

5. **Selecione a configuração Auto, tanto para a posição horizontal quanto para a posição vertical.**

   Se seu osciloscópio não tiver uma configuração Auto, deixe os seletores no ponto médio.

6. **Conecte a ponta de teste à entrada.**

   Se seu osciloscópio tiver múltiplos canais, use o canal A.

7. **Selecione Gnd (Terra) para o Signal Clamp, se seu osciloscópio possuir este controle.**

   Em alguns modelos, este controle pode ser chamado de Signal Coupling (Acoplamento de Sinal).

8. **Conecte o grampo de terra da ponta de teste à conexão terra designada no osciloscópio (veja a Figura 13-6).**

   Se seu osciloscópio não possuir uma conexão terra designada, conecte o terminal a qualquer ponto de metal exposto, como a cabeça de um parafuso.

9. **Se seu osciloscópio tiver um interruptor Signal Clamp, fixe o centro da sonda de teste ao ponto de teste de calibração.**

   Se seu osciloscópio não tiver um interruptor Signal Clamp, fixe o centro da sonda de teste ao ponto de terra.

10. **Ajuste o seletor de posição vertical até o feixe ficar na primeira divisão na tela (veja a Figura 13-7).**

11. **Ajuste o seletor de posição horizontal até o feixe ficar mais ou menos centralizado na tela.**

    Você não precisa se preocupar em fazer essa configuração ficar exata.

12. **Se seu osciloscópio possuir um interruptor Signal Clamp, coloque-o em DC. Se você não tiver um interruptor Signal Clamp, mova a sonda de teste da conexão terra até o ponto de teste de calibração.**

Figura 13-6: Junte o terra da sonda à conexão terra do osciloscópio.

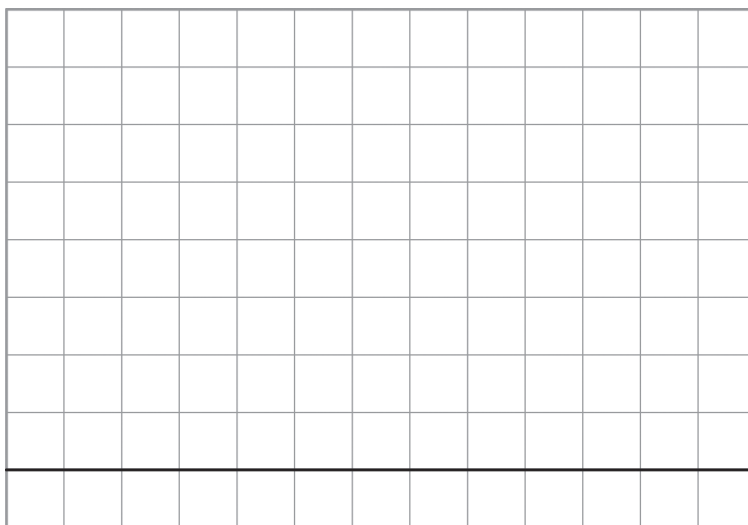



Figura 13-7: Ajuste o seletor de posição vertical de forma que o feixe fique no fundo da grade.

Muitos osciloscópios usam um sinal de teste que se parece com uma onda quadrada de relativa baixa frequência – uma forma de onda que varia uniformemente entre voltagens alta e baixa. Consulte o manual que vem com seu osciloscópio para ver que voltagem e frequência ele produz com seu circuito interno de calibração.

Por exemplo, digamos que o sinal seja 0,5 V pico a pico (indicado como 0,5 V p-p) a 1.000 Hz. Por você ter configurado o seletor Volts/Divisão para 0,5 V e o sinal de teste ter amplitude 0,5 V, a forma de onda ocupa uma divisão na tela.

Ao diminuir a configuração Volts/Divisão, você pode fazer a forma de onda ficar maior. Faça este ajuste quando precisar de maior acurácia. Por exemplo, se você posicionar o seletor Volts/Divisão em 0,1 V, um sinal de 0,5 V vai ocupar cinco divisões.

Exibindo e medindo sinais

Após configurar e testar seu osciloscópio, você estará pronto para utilizá-lo para visualizar o que está acontecendo em seus circuitos.

Não use um osciloscópio para testar voltagem AC vindo de uma tomada na parede, a menos que você tenha tomado precauções especiais. O manual que vem com seu osciloscópio deve indicar essas precauções. Este livro assume que você utiliza seu osciloscópio *apenas* para testar circuitos DC e sinais AC de baixa voltagem, como aqueles de um microfone. Se você conectar seu aparelho diretamente ao 120 VAC da parede, poderá danificar, tanto você quanto seu osciloscópio.

Aqui está uma passada rápida nos passos que você dá para medir sinais de voltagem com um osciloscópio:

1. **Fixe a sonda de teste à entrada do osciloscópio.**

   Nota: Alguns osciloscópios possuem diversas entradas, chamadas *canais*; esses passos estão assumindo que você está lidando com apenas uma entrada, por enquanto.

2. **Ajuste o controle de Volts/Divisão para definir a amplitude ou faixa de voltagem.**

   Por exemplo, se a voltagem que você está testando estiver em algum lugar entre 0 V e 5 V, use a faixa de 1 V por divisão. Com esta configuração, cada volt corresponde a uma divisão na tela do aparelho.

3. **Ajuste o controle de Tempo de Varredura/Divisão para a fatia de tempo do sinal.**

   A *fatia de tempo* (*time slice*) é a duração da parte do sinal mostrada no osciloscópio. Uma fatia de tempo pequena mostra apenas uma pequena porção do sinal, enquanto uma fatia mais longa mostra mais dele. Você pode experimentar com o controle de Tempo de Varredura/Divisão até o sinal ficar na aparência que você queira.

   Se você estiver testando um sinal digital AC de baixa voltagem ou um sinal digital pulsante, configure o controle de forma que possa adequadamente ver cada ciclo do sinal. Se estiver testando um sinal DC contínuo, este controle é menos importante porque o sinal não muda (muito) com o tempo. Escolha uma configuração de faixa média, tal como 1 ms por divisão, para assegurar leituras consistentes.

4. **Selecione o tipo de sinal (AC ou DC) e o canal de entrada.**

   Muitos osciloscópios (tal como o mostrado na Figura 13-3) oferecem dois canais de entrada, marcados como *Channel A* e *Channel B*, de forma que você possa medir e comparar dois sinais simultaneamente. Se o seu for um osciloscópio de canal único, não terá um seletor de canal de entrada.

5. **Ajuste o seletor de posição vertical para definir o nível de referência 0 V do osciloscópio.**

   Se você esperar ver tanto voltagens positivas quanto negativas, deverá definir a posição vertical no meio da tela (na quinta divisão vertical); se você espera ver apenas voltagens positivas, deve definir a posição vertical para o fundo da tela (na primeira divisão vertical). A posição vertical que você definir neste passo – sem nenhuma entrada aplicada ao osciloscópio – especifica o nível de referência 0 V na tela do osciloscópio.

6. **Se seu osciloscópio tiver um interruptor de disparo – trigger switch (como a maioria tem), defina-o como Auto.**

7. **Quando você tiver configurado o osciloscópio apropriadamente, conecte a sonda de teste ao sinal que você testar.**

   Conecte o terra da sonda ao terra do circuito. Conecte a sonda ao ponto do circuito que você quer testar (veja este arranjo na Figura 13-8).

8. **Leia a forma de onda exibida na tela.**

   A menos que seu osciloscópio possua uma função de leitura direta que exiba as voltagens numéricas na tela, você vai precisar correlacionar o que está vendo com as configurações do osciloscópio. Para ler um nível de voltagem, você determina a posição vertical de um ponto na forma de onda exibida com relação à posição de referência 0 V que você definiu no passo 5 e, então, multiplica isso pela escala de voltagem (Volts/Divisão) que selecionou.

   Digamos, por exemplo, que você definiu a posição de referência 0 V no meio da tela (quinta posição vertical), e a escala de voltagem em 2 V por divisão. Um ponto na forma de onda exibida que esteja 3,2 divisões acima do meio da tela representa uma voltagem de 6,4 V (3,2 divisões X 2 V por divisão). Um ponto que esteja 1,5 divisão *abaixo* do meio da tela representa uma voltagem de -3,0 V (-1,5 divisão X 2 V por divisão).

Se você tiver um osciloscópio de duplo traço, poderá exibir dois sinais de uma vez. Osciloscópios de duplo traço possuem dois conjuntos de terminais: um para o Canal A e outro para o Canal B. Você pode mover cada traço para cima e para baixo independentemente, de forma a poder exibir um sinal acima do outro ou sobrepor os dois sinais. Digamos, por exemplo, que queira verificar o ganho de um circuito amplificador. Você conecta os terminais do Canal A à entrada do amplificador, e os terminais do Canal B à saída do amplificador. Alinhando os traços um em cima do outro, você pode comparar facilmente os sinais e calcular o ganho. Esta capacidade pode ser muito útil ao analisar seus circuitos.

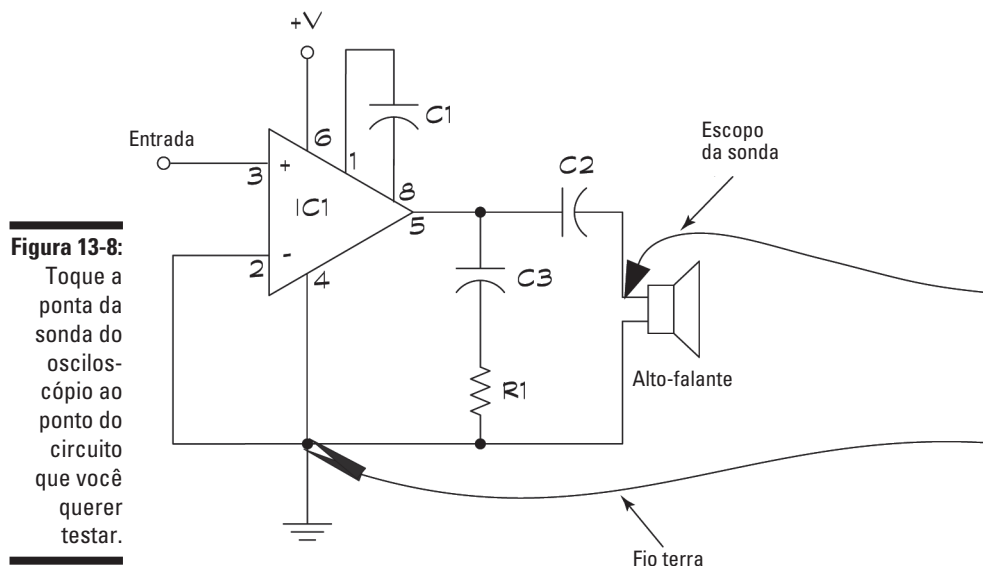



Figura 13-8: Toque a ponta da sonda do osciloscópio ao ponto do circuito que você querer testar.

Testando, 1-2-3, Testando!

Se você vem acompanhando o capítulo, sabe, agora, um pouco sobre o que é um osciloscópio, o que ele faz e como utilizá-lo para exibir um sinal. As seções seguintes mostram a você como fazer alguns testes rápidos. Esses testes demonstram como você usa um osciloscópio para uma variedade de tarefas simples. Após você trabalhar nesses testes, estará bem encaminhado para se tornar um mestre no uso do osciloscópio.

Sua bateria tem alguma carga?

Um teste rudimentar que irá ajudar você a se familiarizar com o osciloscópio é medir a voltagem de uma bateria. Uma bateria produz uma voltagem DC contínua, então a configuração da varredura no osciloscópio é irrelevante neste teste. Você apenas quer saber qual a voltagem que o osciloscópio exibe na tela.

Para esta demonstração, vá no armário e pegue uma bateria de 9 V. Depois de ter feito o procedimento descrito na seção “Configuração básica e testes iniciais”, anteriormente neste capítulo, siga estes passos para testar sua bateria:

1. **Configure o seletor Volts/Divisão para 2 V.**
2. **Certifique-se de que a posição vertical está definida para o fundo da tela (primeira divisão vertical).**

   Isto define o nível de referência 0 V para o fundo da tela.

3. **Fixe a garra de terra da sonda de teste ao terminal negativo da bateria.**

4. **Fixe o centro da sonda de teste ao terminal positivo da bateria.**

   Se a bateria estiver completa, a linha na tela deverá ficar aproximadamente entre a quarta e quinta divisões verticais. Como você tem o Volts/Divisão definido em 2 V, este posicionamento da linha indica que sua bateria tem 9 V (4,5 divisões X 2 V por divisão). Se a linha na tela ficar bem abaixo da quarta divisão vertical, deve ter chegado o momento de aposentar essa bateria.

Dissecando seu rádio para exibir um forma de onda de áudio

Os osciloscópios podem representar visualmente formas de onda AC, tais como a do sinal elétrico que faz funcionar o alto-falante. Este sinal de áudio é complexo porque é feito de frequências em constante mudança. Essas frequências em mudança são o que você ouve como canto, fala ou som de instrumentos musicais.

Para esse teste, tire a parte de trás de um simples rádio à base de bateria, de forma a poder alcançar os dois terminais no alto-falante. Depois de ter feito o procedimento descrito na seção "Configuração básica e testes iniciais", anteriormente neste capítulo, siga estes passos para observar o sinal por trás do alto-falante do seu rádio:

1. **Ajuste o seletor de posição vertical até que o feixe fique no meio da tela (a quinta divisão vertical).**

   Dessa maneira, você verá a voltagem indo acima e abaixo do 0 V.

2. **Coloque o seletor Volts/Divisão em 1 V.**

3. **Coloque o seletor Tempo de Varredura/Divisão em 0,1 milissegundos (0,1 ms).**

4. **Fixe a garra de terra da sonda de teste a um dos terminais do alto-falante.**

5. **Fixe o centro da sonda de teste ao outro terminal do alto-falante.**

6. **Ligue o rádio e olhe a tela do osciloscópio.**

7. **Se de início você não conseguir algo parecido com uma leitura, tente e tente de novo diminuindo a conFiguração Volts/Divisão.**

Aqui estão algumas coisas para se observar quando você fizer este teste:

- **A amplitude da forma de onda aumenta e diminui na medida em que você muda o volume do rádio.** Esta mudança acontece porque o controle de volume altera a voltagem do sinal que você aplica ao alto-falante.

- Ao mexer no seletor de Tempo de Varredura/Divisão, você pode ver detalhes mais finos do sinal.

Se você tiver acesso a um *gerador de funções* que produza uma variedade de sinais (como nós descrevemos no Capítulo 16) você pode utilizar essa mesma técnica para dar uma olhada nas formas de onda. Em vez de uma mistura de linhas, você verá uma distinta onda senoidal, e observará como o *display* muda quando você varia sua frequência. Você também poderá observar outros tipos de formas de onda, tais como ondas quadradas e triangulares.

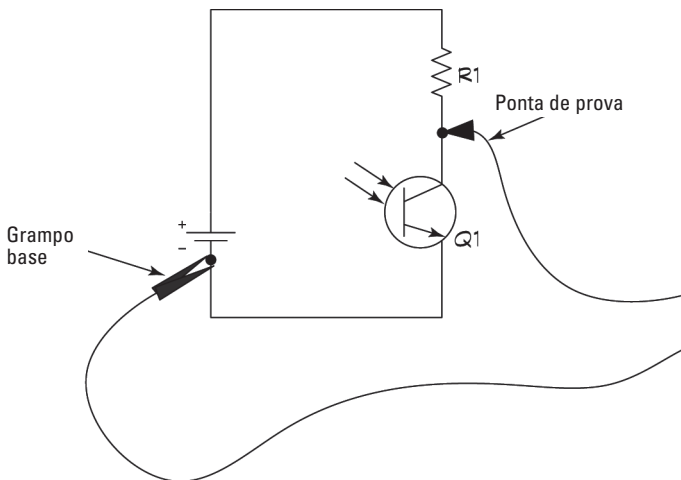
Testando a frequência de um circuito AC

Você pode determinar a frequência de sinal AC, e exibir corrente alternada de 60 Hz (50 Hz em algumas partes do mundo) que vem de uma tomada na parede. Note, entretanto, o seguinte cuidado antes de plugar qualquer coisa em qualquer lugar:

Apesar de ser tecnicamente *possível* plugar a sonda de teste de um osciloscópio diretamente em uma tomada na parede – NEM PENSE NISSO! – fazer isso representa um perigo significante.

Em vez disso, você pode testar a frequência da sua corrente doméstica indiretamente – e com segurança – usando um fototransistor.

Sim, para este teste você precisa de um *fototransistor* (um transistor dependente de luz, detalhado no Capítulo 8) e um resistor de 10kΩ. Para mais sobre resistores, veja o Capítulo 3. Conecte o *fototransistor* e o resistor a uma bateria de 9 V – como a configuração na Figura 13-9. Então pegue uma luminária doméstica com uma lâmpada incandescente, e você estará pronto para o teste!

Figura 13-9: Use este circuito simples para testar a fre quência da corrente AC da sua casa.

Após seguir o procedimento "configurar e testar" delineado na seção "Configuração básica e testes iniciais" mostrado anteriormente neste capítulo, faça seu teste seguindo os passos:

1. **Ajuste o seletor de posição vertical até o feixe ficar no meio da tela (a quinta divisão vertical).**
2. **Configure o seletor Volts/Divisão para 1 V.**
3. **Configure o seletor Tempo de Varredura/Divisão para 10 ms.**
4. **Fixe a garra de terra da sonda de teste ao terminal negativo da bateria.**
5. **Fixe o centro da sonda de teste ao ponto onde você conectou o fototransistor e o resistor.**
6. **Ligue a luz e note a ondulação na forma de onda.**

   Para melhores resultados, não coloque a luz diretamente no fototransistor. Em vez disso, direcione a luz para longe até que você consiga ver uma onda senoidal. Se a sua lâmpada estiver muito perto do fototransistor, o transistor pode ficar saturado (que é como uma sobrecarga), e você não verá nenhuma mudança de sinal. Ajuste o seletor de Volts/Divisão até ter uma leitura decente.

O fototransistor pode detectar mudanças muito rápidas na luz, que você vê nos altos e baixos do sinal na tela do osciloscópio, reagindo muito mais rapidamente que seus olhos. Tente como quiser, você não vai conseguir observar diretamente a lâmpada ficar mais brilhante e mais fraca na medida em que a corrente aumenta e diminui; isso é por causa da *persistência de visão* (a insistência do seu cérebro em ver continuidade de movimento). Mas através da mágica da eletrônica, você "vê" a luz pulsando!

Você deve usar uma lâmpada incandescente para esse trabalho. As modernas lâmpadas fluorescentes compactas (CFLs) incluem circuitos eletrônicos projetados para estabilizar a corrente, fluindo através do tubo cheio de gás na medida em que a voltagem AC alterna para cima e para baixo.

A ondulação na tela do osciloscópio representa a corrente AC pulsando através da lâmpada incandescente. Mas o fototransistor registra um *flash* de luz cada vez que a corrente AC vai de positiva a negativa, então a ondulação que você vê, muda *duas vezes mais* do que a corrente doméstica fluindo pela lâmpada. Daí a frequência da forma de onda na tela do osciloscópio ser duas vezes maior do que a frequência da corrente doméstica – sendo seu valor esperado de 120 Hz.

Esqueça por um momento que você já sabe o que frequência da forma de onda é. Para determinar a frequência pela leitura do osciloscópio, você primeiro calcula o período da forma de onda – o tempo que ela leva para completar um ciclo de subir e descer – e então converta-o para frequência pegando seu inverso. Para fazer isso, você mede a distância entre dois picos consecutivos da forma de onda. Neste caso, deve ser uns 0,8 de uma divisão. Você então multiplica essa distância pelo Tempo de Varredura/Divisão que definiu (10 ms ou 0,01 segundo) para obter o período, dessa maneira:

Período (em segundos) = 0,8 de uma divisão × 0,01 segundos/divisão
= 0,008 segundos

Então você tira o inverso do período para obter a frequência:

Frequência (em Hertz) $= 1/_{\text{Periodo}}$ (em segundos)

$= 1/_{0,008}$

= 125 Hz

Relembrando que a frequência da forma de onda na tela do osciloscópio é duas vezes a frequência da corrente doméstica pulsando através da lâmpada, você divide 125 por dois para obter sua estimativa da frequência da corrente doméstica: 61,5 Hz. É bem perto de 60 Hz.

Um osciloscópio possibilita você a calcular uma *aproximação* da frequência de um sinal. Se você precisar de algo mais acurado, poderá usar um equipamento de teste chamado *contador de frequência*. Esse dispositivo usa uma leitura digital para exibir a frequência do sinal, e sua acurácia é da ordem de um a diversas centenas de milhares de hertz. Verifique o Capítulo 16 para mais sobre contadores de frequência.

Parte III
Pondo a Teoria em Prática

A 5ª Onda Por Rich Tennant

"Eu acho que consertei o interfone. Apenas se lembre de falar no ventilador de teto quando a campainha da porta tocar."

Nesta parte...

Entender como os componentes eletrônicos controlam a corrente elétrica é útil, mas ver esse controle em ação é o verdadeiro nirvana da eletrônica. Nesta parte, você verá como preparar circuitos simples para demonstrar os princípios da eletrônica. Mostraremos a você como utilizar seu multímetro – e um bocado de matemática – para obter evidência o suficiente para provar que os componentes eletrônicos realmente correspondem às suas promessas. Você pode até fazer alguns LEDs brilharem, para mostrar onde e quando a corrente elétrica está fluindo pelos seus circuitos de teste.

Dividiremos também com você os planos para diversos projetos divertidos de eletrônica que poderá criar em menos de 30 minutos – sem ter que quebrar seu cofrinho de porquinho. Utilizando sensores, luzes e campainhas, você pode botar a eletrônica para trabalhar e criar uma variedade de circuitos práticos – e, algumas vezes, interessantes. Você pode achar que esses projetos sugerem algumas ideias criativas para outros circuitos que poderá construir para impressionar seus amigos e familiares.

Capítulo 14

Explorando Alguns Circuitos de Aprendizado

Neste Capítulo:

- Pondo em vigor a Lei de Ohm com um simples circuito resistivo
- Testemunhando os altos e baixos da voltagem de um capacitor
- Vendo a luz com LEDs
- Chegando ao ponto com um diodo Zener
- Criando e ampliando correntes com transistores
- Pensando logicamente com portas NAND

A essa altura, você deve imaginar se todo aquele bla bla bla teórico discutido nos Capítulos 1–6 realmente funcionará no seu laboratório doméstico de eletrônica. Seus resistores irão resistir? Quando você carregar um capacitor, ele irá fielmente segurar a energia elétrica até que você dê o OK para ele descarregar? Seus semicondutores realmente irão conduzir quando você quiser que eles o façam? E as portas lógicas, elas são tão lógicas como o anunciado?

Se estiver interessado em ver os princípios da eletrônica em ação, então você veio ao capítulo certo.

Neste capítulo, mostraremos a você circuitos simples que acalmam as ansiedades eletrônicas, demonstrando como vários componentes e as leis que os governam funcionam. Você pode construir qualquer um desses circuitos em menos de dez minutos e testemunhar em primeira mão como um ou mais componentes formatam a corrente elétrica. Utilizando seu multímetro como guia – com algumas pistas visuais de uns LEDs estrategicamente posicionados – você pode ter uma ideia real do que acontece dentro de cada circuito.

Preparando-se para Explorar

Para estar preparado para construir os circuitos neste capítulo, certifique-se de ter alguns suprimentos prontos. No mínimo, você necessita dos seguintes itens para construir e explorar alguns dos (ou todos os) circuitos discutidos neste capítulo:

- **Protoboard sem solda.** Você deve ter pelo menos uma *protoboard* sem solda para possibilitá-lo de construir, atualizar, desmontar e reconstruir os circuitos que nós discutimos. Se necessário, reveja as técnicas de uso de *protoboards* discutidas no Capítulo 11 para que saiba quais buracos estão conectados com outros buracos antes de começar a enfiar componentes aleatoriamente.
- **Baterias.** Todos os circuitos neste capítulo funcionam com uma ou duas baterias de 9 V. Vale a pena ter algumas baterias extras à mão no caso de deixar o circuito ligado por muito tempo. Para tornar mais fácil a construção de circuitos, compre dois clipes de baterias de 9 V e solde fios sólidos de gauge - 22 nos terminais dos clipes para que você possa conectar e desconectar facilmente suas baterias de qualquer circuito, eliminando a necessidade de um interruptor. Para mais sobre solda de terminais, veja o Capítulo 11.
- **Multímetro.** Se você está lendo este capítulo, acho que quer explorar alguns circuitos. Para fazer isso, você precisa de multímetro para medir voltagem, corrente e resistência na medida em que você observar o que acontece aos elétrons que seus circuitos estão manipulando. Reveja o Capítulo 12 se precisar relembrar como manipular um multímetro.
- **Calculadora.** Se você não confiar no seu cérebro para fazer cálculos matemáticos, traga uma calculadora para sua bancada de trabalho.

Cuidadosamente verifique suas unidades de medida. Converta valores para ohms, amperes e volts antes de calcular qualquer coisa.

Só para deixar sua lista de compras mais fácil, aqui está uma lista de todos os componentes eletrônicos utilizados nos circuitos de aprendizado neste capítulo:

- **Resistores:** Com apenas uma exceção, e que está indicada, resistores de ¼ W ou $^1/_8$ W com tolerância de 10 a 20% servem bem. Você precisará dos seguintes resistores fixos: um de 220 Ω, um de 330 Ω, dois de 470 Ω e ½ W, dois de 1 kΩ, dois de 10 kΩ e um de 100 kΩ.
- **Potenciômetros:** Um de cada: 10 kΩ, 100 kΩ e 1 MΩ. Para preparar cada potenciômetro para uso na sua *protoboard* sem solda, solde fios de uns 8cm a cada um dos três terminais. Lembre-se de que o terminal do meio está conectado ao *wiper* dentro do dispositivo, e os terminais de cada lado são fixos.
- **Capacitor:** Um capacitor eletrolítico de 470 µF para um mínimo de 25 V.
- **Transistores:** Dois transistores bipolares NPN de uso geral, tais como o 2N3904 ou BC548.
- **LEDs:** Dois LEDs padrão de 5mm de qualquer cor (mesma cor ou diferente).
- **Diodos:** Um diodo Zener 1N4731 de 4,3 V e 1 W.
- **CI:** Um CI 4011 de quatro portas NAND de duas entradas (quad 2-input NAND).

Para o primeiro circuito que discutiremos, vamos levar você pelo processo de construí-lo em uma *protoboard* sem solda. Para os circuitos subsequentes, vamos simplesmente lhe mostrar o diagrama esquemático e deixar a construção por sua conta. Ao construir cada circuito, use uma linha ao longo do topo da sua *protoboard* para conexões com o lado positivo da fonte de alimentação, e uma linha ao longo da parte de baixo para as conexões terra (o lado negativo da fonte de alimentação), como nós explicamos e ilustramos para o primeiro circuito de aprendizado.

Ver É Acreditar: A Lei de Ohm Realmente Funciona!

O Capítulo 3 aborda um dos mais importantes princípios da eletrônica: A Lei de Ohm: a queda da voltagem, V, ao longo de um componente com uma resistência fixa, R, é igual ao produto da corrente, I, fluindo através do componente com o valor da resistência (R). A Lei de Ohm governa todos os componentes eletrônicos resistivos. Você pode resumi-la com esta equação:

$$V = I \times R$$

Você pode também rearranjar os termos dessa equação para obter duas outras equações que realmente dizem a mesma coisa de duas outras maneiras:

$$I = \frac{V}{R}$$

e

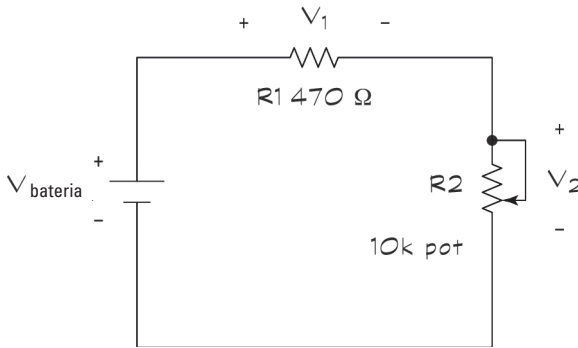
$$R = \frac{V}{I}$$

Você utiliza a Lei de Ohm para lhe ajudar a analisar circuitos, de simples circuitos em série a circuitos mais complexos de séries e paralelos. Nesta seção, você pode testar a Lei de Ohm para ter certeza de que ela funciona (e funciona!) e para dar seus primeiros passos na análise de circuitos.

Ao explorar esses circuitos, tenha em mente uma outra importante regra (Lei das Voltagens de Kirchoff) que se aplica a todos os circuitos: *As subidas e quedas de tensão em um circuito sempre somam zero*. Em circuitos DC, como os explorados nesta seção, outra maneira de dizer a mesma coisa e que a soma das quedas de tensão que ocorrem ao longo de *todos* os componentes de um circuito é igual ao valor da fonte de voltagem. (Se você quiser rever esses conceitos, reveja o Capítulo 2.)

Analisando um circuito em série

A Figura 14-1 mostra um simples circuito em série contendo uma bateria de 9 V, um resistor de 470 Ω (R1) e um potenciômetro de 10 kΩ, ou resistor variável (R2). Nós também rotulamos as quedas de tensão em R1 e R2. Para este circuito, você vai conectar o terminal do meio (wiper) e um terminal lateral (fixo) do potenciômetro juntos – como é prática comum ao utilizar o potenciômetro como um resistor de dois terminais variável. Dessa maneira, R2 é a resistência dos terminais combinada ao outro terminal (fixo). Girando o seletor do potenciômetro, você pode variar a resistência de R2 entre 0 (zero) Ω e 10 kΩ.

Figura 14-1: Com um simples circuito em série, você pode observar a Lei de Ohm em ação.

Antes de utilizar um potenciômetro em seu circuito, use o multímetro – posto em Ohms – para medir a resistência do potenciômetro (do terminal do *wiper* ao terminal fixo que não está conectado ao *wiper*). Gire o potenciômetro todo em uma direção para que seu multímetro leia 0 (zero) Ω.

Construindo um simples circuito em série

Veja a Figura 14-2 para fazer as conexões na sua *protoboard*. Construa o circuito um passo por vez, conectando a bateria por último, como segue abaixo:

1. **Insira o resistor fixo (R1).** Plugue um terminal (qualquer um) em um buraco na linha superior da *protoboard* e o outro terminal em um buraco na seção central da *protoboard*.
2. **Insira o potenciômetro (R2).** Plugue o terminal fixo (o que não está conectado com o terminal *wiper*) em um buraco na seção central, na mesma coluna que o terminal do resistor R1, e plugue os outros dois terminais em buracos na linha inferior da *protoboard*.

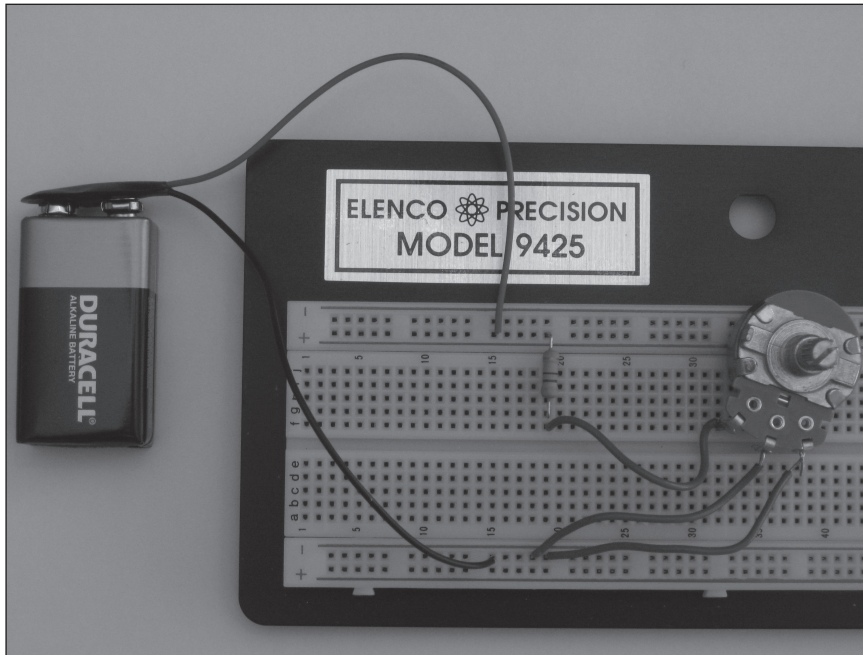



Figura 14-2: Preparar um simples circuito em série em uma *protoboard* sem solda é muito rápido.

3. **Insira a bateria.** Plugue o fio para o terminal positivo em um buraco na linha inferior e o fio para o terminal negativo em um buraco na linha superior para completar o circuito.

Agora é hora de sondar seu circuito vivo utilizando seu multímetro.

Somando voltagens em um circuito

Primeiro você pode explorar algumas voltagens. Coloque seu multímetro para Volts DC com uma faixa de 10 V, e siga estes passos:

1. **Comece com um teste simples para determinar a exata voltagem da sua bateria:**

   Toque com a sonda preta do voltímetro o terminal negativo da bateria e com a sonda vermelha do voltímetro o terminal positivo da bateria.

   Você pode inserir gentilmente a ponta de cada sonda em um buraco na *protoboard* que esteja conectado ao ponto que você está medindo no circuito.

   Você deverá ver uma leitura de aproximadamente 9 volts (para uma bateria nova). Anote a leitura.

2. **Teste a queda de voltagem no potenciômetro (R2). Para fazer isso, posicione a sonda preta do voltímetro no ponto onde o R2 está conectado ao terminal negativo da bateria, e posicione a sonda vermelha no ponto onde R1 e R2 estão conectados.**

Que leitura você está obtendo? Que leitura você deveria esperar obter, e por quê? (Dica: O potenciômetro está virado até o zero Ω.)

3. **Teste a queda de tensão em R1. Tome cuidado para orientar as sondas do voltímetro de forma que você obtenha uma voltagem positiva, colocando a ponta preta no ponto onde R1 encontra R2 e a ponta vermelha no ponto onde R1 está conectado à bateria.**

   Que leitura você obtém, e por quê? Se você somar as voltagens que mediu, você deveria obter a voltagem da bateria, dessa maneira:

   $V_1 + V_2 = V_{bateria}$

   Tente ajustar o potenciômetro para uns pontos diferentes e meça V_1 e V_2 de novo. Eles somados sempre resultam em $V_{bateria}$?

Chegando na Lei de Ohm

Para testar a Lei de Ohm, zere o potenciômetro de novo – e pense sobre que corrente você espera ver nesse circuito em série, com o potenciômetro girado até o zero ohm. Daí, com as sondas desconectadas do circuito, mude a configuração do multímetro para Amps DC, e coloque a faixa em 200 mA. Pode ser que você queira mudar para a faixa de 20 mA, mas é melhor começar com uma faixa maior e diminuir, do que começar com uma menor e aumentar.

Lembre-se que para medir corrente, você precisa inserir o medidor em série com qualquer que seja a coisa cuja corrente você quer medir. Mas antes de quebrar o circuito, desconecte a bateria, simplesmente removendo um dos terminais da *protoboard*. É bom adquirir o hábito de remover a alimentação antes de começar a mexer com os componentes do circuito.

Para testar a Lei de Ohm, siga estes passos:

1. **Com a energia desconectada, mova o terminal do potenciômetro (R2) que está conectado ao R1 para outra coluna na protoboard.**

   Agora você abriu o circuito.

2. **Conecte o terminal vermelho do medidor ao lado aberto do R1 e o terminal preto ao lado aberto do R2. Então conecte a bateria ao circuito.**

   Você deverá obter uma leitura de corrente. Se a leitura for menor do que 20 mA, você poderá diminuir a faixa do medidor para a de 20 mA, para conseguir uma leitura mais precisa. A leitura que você está vendo é a esperada? Agora você está convencido de que a Lei de Ohm se aplica ao seu circuito?

3. **Com seu medidor ainda conectado entre R1 e R2, calmamente gire o eixo do potenciômetro e observe a mudança na corrente.**

   A leitura está mudando na direção correta?

4. **Vire o eixo do potenciômetro até o fim.**

   A leitura da corrente é a que você esperava que seria? Lembre-se de que corrente através de um circuito em série é limitada por todas as resistências do circuito, e que resistências em série se somam. Mantenha em mente, também, que o medidor vai inserir uma certa quantidade de resistência no circuito, apesar de ela ser muito pequena.

5. **Gire o eixo do potenciômetro até que a corrente que você estiver lendo seja de uns 10 mA e calcule o valor da resistência R2 que você espera.**

6. **Desconecte a bateria e então remova o potenciômetro do circuito.**

7. **Ponha o multímetro em Ohms numa faixa de 2kΩ. Meça a resistência entre os terminais do potenciômetro.**

   A resistência é aproximadamente o que você esperava?

Você pode experimentar o quanto quiser, variando o potenciômetro e medindo correntes e voltagens para verificar que a Lei de Ohm realmente funciona. Verá também que a voltagem que cai em R1 e R2 muda na medida em que a resistência do potenciômetro muda – e que essas voltagens sempre somam a voltagem da bateria. Tente encher a tabela dada aqui ao fazer seus testes; adicione linhas para outras configurações de potenciômetros.

R2	Corrente	V_2	V_1
0 Ω			
	10 mA		
		5 V	
10 kΩ			

Dividindo a voltagem

Utilizando o mesmo circuito em série (mostrado na Figura 14-1), você pode testar o conceito de divisor de tensão discutido no Capítulo 3. Digamos, por exemplo, que você precise alimentar um circuito com 5 V, mas você tem uma fonte de alimentação de 9 V. Você pode dividir a voltagem da bateria entre dois ou mais componentes resistivos, ajustando as resistências de forma que uma das voltagens seja 5 V.

Utilizando a Lei de Ohm, você sabe que a voltagem em R2 é igual a corrente, I, através do circuito vezes a resistência R2. Você também sabe que a corrente, I, é igual à voltagem da bateria dividida pela resistência total do circuito, que é R1 + R2. Dessas duas equações, você pode escrever uma expressão para a voltagem em R2:

$$V_2 = I \times R2$$

$$= \frac{V_{bateria}}{R1 + R2} \times R2$$

$$= \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{bateria}$$

Note que a expressão no lado direito dessa equação é o que você obtém quando multiplica a razão da resistência pela fonte de voltagem. Com o potenciômetro fora do circuito, ajuste para algum ponto e meça a resistência. Dada essa resistência, qual queda de tensão no potenciômetro você espera? Insira o potenciômetro no circuito, ligue-o, e meça sua voltagem. Ficou perto do valor estimado?

Use a seguinte tabela para testar seu divisor de tensão para uma faixa de valores de R2. O que você percebe sobre o valor de V_2 comparado com a voltagem da bateria quando o R2 é muito maior do que R1? Isso faz sentido para você?

R2	Estimativa $V_2 = \frac{R2}{R1+R2} \times V_{bateria}$	V_2 Medido
50 Ω		
100 Ω		
470 Ω		
1 kΩ		
5 kΩ		
8 kΩ		
10 kΩ		

Agora, suponha que você queira projetar um circuito divisor de tensão para produzir 5 V em R2. Para fazer isso, você calcula o valor específico de R2 que irá resultar em 5 V em R2. Isso significa colocar 5 V no V_2 na equação do divisor de tensão mostrada anteriormente, fazendo com que determine o valor de R2. Note que você não precisa saber a corrente que passa através do circuito para projetar um divisor de tensão. Depois de um pouco de manipulação matemática (que nós não mostraremos aqui porque isto não é um livro de matemática), e supondo que sua bateria meça 9 V, resultará na seguinte equação para R2:

$$R2 = {}^{5}/_{4} \times R1 = 1{,}25 \times R1$$

Como R1 é igual a 470 Ω (nominalmente pelo menos), você deve esperar produzir 5 V em R2 quando o potenciômetro estiver configurado em uns 588 Ω (isso é 1,25 × 470 Ω).

Aqui está o passo a passo de como testar estes cálculos:

1. **Ponha seu multímetro em Volts DC com uma faixa de 10 V e meça a voltagem no potenciômetro.**
2. **Gire o eixo do potenciômetro até a leitura da voltagem ser uns 5 V.**
3. **Remova o potenciômetro do circuito e meça a resistência.**

   O valor da resistência deve estar na vizinhança de 588 Ω.

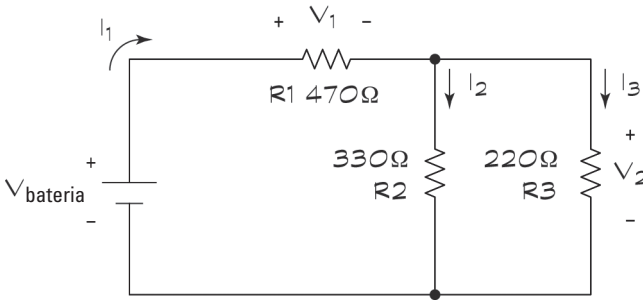
Você pode testar o conceito de divisor de tensão por conta própria. Pegue um valor de R2 e ajuste o potenciômetro para este valor. Calcule a voltagem esperada em R2, e então meça a voltagem real com o potenciômetro no circuito. Você captou a ideia.

Resistores estacionados em paralelo

Quer ver a corrente se dividir bem em frente aos seus olhos? Prepare o circuito mostrado na Figura 14-3 e meça cada corrente, seguindo estes passos:

1. **Configure seu multímetro. Ponha-o em Amperes DC, em uma faixa de 20 mA.**
2. **Meça a corrente de alimentação, I_1, como se segue:**
   a. Abra o circuito entre a bateria e R1.
   b. Insira o multímetro em série com a bateria e R1, com a sonda vermelha conectando-se ao terminal positivo da bateria, e a sonda preta conectando-se ao lado aberto do resistor.
   c. Anote a leitura de corrente.
3. **Remova o multímetro, e então reconecte a bateria e o resistor.**
4. **Meça a corrente de ramo, I_2, como se segue:**
   a. Remova um dos terminais do resistor R2.
   b. Insira o multímetro em série com R2, utilizando a orientação apropriada dos terminais.
   c. Anote a leitura de corrente.
5. **Remova o multímetro, e então reconecte o terminal de R2 no circuito.**
6. **Meça a outra corrente de ramo, I_3, como se segue:**
   a. Remova um dos terminais do resistor R3.
   b. Insira o multímetro em série com R3, utilizando a orientação apropriada dos terminais.
   c. Anote a leitura de corrente.
7. **Remova o multímetro e desligue-o. Então reconecte o terminal R3 ao circuito.**

A menos que as forças da natureza tenham mudado (ou seu multímetro tenha endoidado), as correntes medidas nos ramos devem ter a soma igual à corrente de alimentação medida:
$I_2 + I_3 = I_1$.

Figura 14-3: A corrente de alimentação se divide entre os dois ramos do circuito.

Você pode usar matemática para calcular essas correntes aplicando a Lei de Ohm e a regra para resistências em série e paralelas. Para calcular a corrente de alimentação total, I_1, você determina a resistência total do circuito, R_{total}, e aplica a Lei de Ohm utilizando a voltagem da bateria.

No Capítulo 3, nós discutimos como calcular a resistência equivalente, Rtotal, de um circuito conjunto série e paralelo como o mostrado na Figura 14-3 como segue abaixo:

$$R_{total} = R1 + \left(R2 \| R3\right)$$
$$= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3}$$

Se você substituir os números para os valores de resistores escolhidos aqui, deverá encontrar que $R_{total} = 602\ \Omega$.

Então você calcula a corrente total de alimentação como se segue:

$$I_1 = \frac{V_{bateria}}{602\ \Omega}$$

Assumindo que $V_{bateria} = 9$ V, você obtém

$$I_1 = \frac{9\ V}{602\ \Omega} \approx 0.015\ A = 15\ mA$$

Agora que você sabe I_1, poderá calcular a voltagem V_1 em R1 como se segue:

$$V_1 = I_1 \times R1 = 0{,}015\ A \times 470\ \Omega \approx 7\ V$$

Se 7 V caem em R1, então V_2, a voltagem no paralelo dos resistores, deve ser 2 V (9 V – 7 V). Utilizando V_2 e aplicando a Lei de Ohm a cada resistor do paralelo, você pode calcular as correntes nos ramos:

$I_2 = V_2/R2 = 2\ V/330\ \Omega \approx 0.006\ A = 6\ mA$

$I_3 = V_2/R3 = 2\ V/220\ \Omega \approx 0.009\ A = 9\ mA$

Incrivelmente, as duas correntes nos ramos somadas resultam na corrente de alimentação.

Use seu multímetro como um voltímetro, e verifique seus cálculos de voltagem. Então, para maior diversão, troque o resistor fixo R3 por um potenciômetro de 10 kΩ. Varie a resistência e observe o que acontece às correntes e voltagens. Quando você terminar esses testes, será um doutor na Lei de Ohm!

Carregando e Descarregando Capacitores

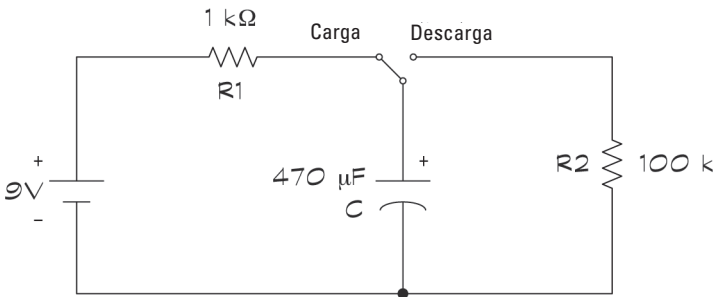
Neste experimento, você poderá observar um capacitor carregando, segurando a carga e descarregando. Você também poderá variar o tempo para a carga e descarga do capacitor. Dê uma olhada no Capítulo 4 para rever como os capacitores funcionam e como poderá controlar sua operação.

Vendo suas cargas subirem e descerem

O circuito na Figura 14-4 é realmente dois circuitos em um. O interruptor alterna entre posições rotuladas “carga” e “descarga”, criando duas opções de circuito:

- **Circuito de carga:** Quando o interruptor está na posição de carga, o circuito consistirá na bateria, resistor R1 e no capacitor, C. O resistor R2 não está conectado ao circuito.
- **Circuito de descarga:** Quando o interruptor está na posição de descarga, o capacitor está conectado ao resistor R2 em um circuito completo. A bateria e R1 estão desconectados do circuito (eles estão abertos).

Use um fio *jumper* como interruptor. Espete uma ponta do fio *jumper* na *protoboard* de forma que fique conectado ao lado positivo do capacitor. Então você pode usar a outra ponta para conectar o capacitor a R1 ou R2. Você também pode deixar a outra ponta do fio *jumper* desconectada, o que nós sugerimos que você faça mais tarde nesta lição. Você verá o porquê.

Figura 14-4: Mova o interruptor neste circuito para alternadamente carregar e descarregar o capacitor.

Prepare o circuito utilizando uma bateria de 9 V, mas não conecte a ponta livre do fio *jumper* a qualquer coisa ainda. Certifique-se de ter orientado apropriadamente o capacitor eletrolítico conectando o seu lado negativo ao terminal negativo da bateria (ou ele pode explodir, e você não quer isso).

Para observar seu capacitor carregar, segurar a carga e então descarregar, siga estes passos:

1. **Coloque seu multímetro em Volts DC numa faixa de 10 V, e conecte-o ao capacitor (ponta vermelha no lado positivo do capacitor, e ponta preta no lado negativo do capacitor).**

2. **Carregue o capacitor: Conecte o interruptor na posição de "carga" (em R1) e observe a leitura de voltagem no seu medidor.**

   Você deverá vê-la subindo até aproximadamente 9 V – mas não instantaneamente – já que o capacitor se carrega através do resistor R1. Isso deverá levar alguns segundos.

3. **Ponha o capacitor em estado de espera: Remova a ponta do fio jumper e deixe-o ficar solto. Observe a leitura no seu voltímetro.**

   Ele deve continuar a mostrar 9 V ou perto disso. Você pode ver a leitura diminuir um pouquinho; capacitores podem vazar carga. O capacitor segura sua carga (realmente, segurando energia elétrica), mesmo sem uma bateria conectada.

4. **Deixe o capacitor descarregar: Conecte a ponta solta do fio jumper na posição de "descarga" (em R2) e observe a leitura de voltagem no seu medidor.**

   Você deverá vê-lo descarregando bem devagar, já que o capacitor descarrega através do resistor R2 até 0 V. Isso deverá levar alguns minutos.

   O Capítulo 4 explica que um capacitor em um simples circuito RC alcança sua carga total em aproximadamente cinco vezes a constante de tempo RC, *T*. T é simplesmente o valor da resistência (em ohms) vezes o valor da capacitância (em farads). Então você pode calcular o tempo que leva para a carga e a descarga do capacitor no seu circuito da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}\text{Tempo de carga} &= 5 \times R1 \times C\\ &= 5 \times 1.000\ \Omega \times 0{,}000470\ \text{F}\\ &= 2{,}35\ \text{s}\\ \text{Tempo de descarga} &= 5 \times R2 \times C\\ &= 5 \times 100.000\ \Omega \times 0{,}000470\ \text{F}\\ &= 235\ \text{s} \approx 3{,}9\ \text{min}\end{aligned}$$

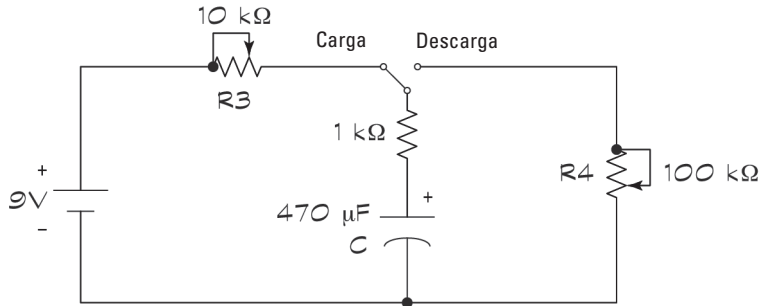
Foi isso que você observou? Repita o experimento de carga e descarga e veja se seus cálculos parecem certos.

Variando a constante de tempo RC

Ao inserir um par de potenciômetros no seu circuito de carga e descarga, você pode observar diferentes constantes de tempo RC e observar seu capacitor carregar e descarregar em diferentes intervalos de tempo. Aqui está o que você deve fazer:

1. **Prepare o circuito da Figura 14-5, deixando o interruptor aberto (uma ponta do fio jumper desconectada da protoboard).**

   Perceba que há um resistor de 1 kΩ em série com o capacitor. Isto é para proteger o capacitor limitando o fluxo de corrente qualquer que seja o valor do potenciômetro.

Figura 14-5: Ajuste os potenciômetros neste circuito para variar os tempos de carga e descarga do capacitor.

A constante de tempo RC do seu circuito de carga é determinada pela resistência total do circuito de carga vezes a capacitância. A resistência no circuito de carga é a soma da resistência fixa (1kΩ) e a resistência variável ajustada no potenciômetro R1. Então você pode calcular o tempo de carga do capacitor com essa equação:

Tempo de carga = $5 \times (R3 + 1000) \times C$

Se você ajustar R3 para 0 Ω, sua resistência é simplesmente 1.000 Ω, e você deve esperar que o capacitor se carregue em aproximadamente 2,35 segundos, assim como aconteceu na seção anterior (“Vendo suas cargas subirem e descerem”).

2. **Mova o fio jumper para posição de carga e observe a leitura no voltímetro.**

   A constante de tempo RC do seu circuito de descarga é determinada pela resistência total do circuito vezes a capacitância. A resistência total no circuito de descarga é a soma da resistência fixa (1kΩ) e da resistência variável do potenciômetro R4. Então você pode achar o tempo de descarga do capacitor utilizando a seguinte equação:

   Tempo de descarga = 5 × (R4 + 1.000) × C

   Se puser R4 na sua resistência máxima, 100kΩ, você deverá esperar um tempo de descarga de aproximadamente 237 segundos ou 4 minutos (quase o mesmo que em “Vendo suas cargas subirem e descerem”).

3. **Mude o fio jumper para a posição de descarga e observe a leitura do voltímetro.**
4. **Após o capacitor ter descarregado, remova o fio jumper.**
5. **Ajuste R3 para seu valor máximo, 10 kΩ.**
6. **Mova o interruptor para a posição de carga e observe a leitura do medidor.**

   Percebeu o quanto demorou para o capacitor carregar? Ele pareceu carregar rapidamente de início e depois diminuir a velocidade?

   No Capítulo 4, você pode ver que a forma de onde voltagem *versus* tempo de um capacitor carregando/descarregando. A forma de onda mostra que, inicialmente, um capacitor carrega rápido e depois mais lentamente. O mesmo ocorre quando o capacitor descarrega. Ele inicialmente descarrega rápido, e depois mais lentamente.

7. **Remova o fio jumper.**
8. **Ajuste R4 para 0 Ω.**
9. **Mova o interruptor para a posição de descarga e observe a leitura do medidor.**

   O capacitor descarregou bem rápido, não foi? Espere que ele descarregue em uns 2½ segundos.

   Tente ajustar cada potenciômetro para diferentes valores, e alternadamente carregar e descarregar o capacitor. Se você realmente quiser se divertir, pegue aquele cronômetro de cozinha e tente cronometrar o tempo dos ciclos de carga/descarga. Então remova cada potenciômetro, meça cada resistência e calcule o 5RC. Seus cálculos bateram com suas observações?

Queda de Tensão em Diodos

Diodos, que nós discutimos no Capítulo 6, são como válvulas de uma direção para corrente elétrica. Aplicando uma pequena voltagem do ânodo para o cátodo, a corrente flui na direção, e a queda de tensão no diodo permanece razoavelmente constante, mesmo quando a corrente aumenta.

Nesta seção, você testemunhará, em primeira mão, algumas das maneiras nas quais os diodos são usados em circuitos eletrônicos. Você também poderá usar seu multímetro para explorar as quedas de tensão e as correntes em circuitos com diodos.

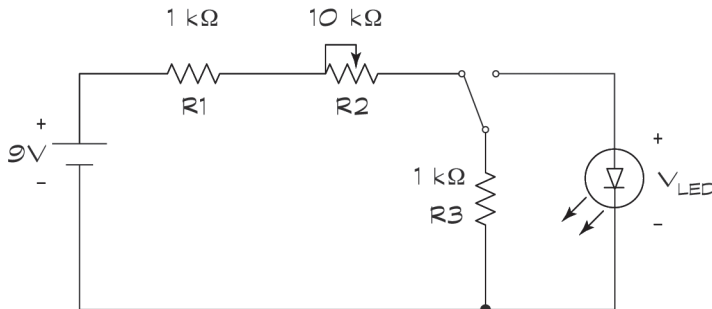
Ligando um LED

Para LEDs vermelhos, amarelos e verdes, uma tensão direta de uns 2,0 V abre a válvula, por assim dizer, permitindo que a corrente flua e que o LED acenda. LEDs podem conduzir correntes de até uns 20 mA. Verifique os valores para LED em particular que você escolheu.

O circuito na Figura 14-6 é projetado para demonstrar a operação de liga/desliga de um LED, e como aumentos na corrente fortalecem a luz emitida pelo diodo. Segue abaixo tudo o que precisa fazer:

1. **Coloque um potenciômetro de 10 kΩ em sua resistência máxima.**
2. **Prepare o circuito mostrado na Figura 14-6, utilizando um LED padrão vermelho, amarelo ou verde.**

   Tenha certeza de orientar o LED apropriadamente, com o cátodo (lado negativo) conectado ao terminal negativo da bateria. Em muitos LEDs, o menor dos dois terminais é o cátodo.

Figura 14-6: Use este circuito para ligar e desligar um LED e variar a intensidade da luz.

3. **Ponha seu multímetro em Volts DC numa faixa de 10 V e posicione-o no LED.**

   O LED está aceso? Que leitura de voltagem você obteve? A voltagem do LED deveria ser menor do que 1 V, o que não é suficiente para ligar o diodo.

4. **Diminua a resistência do potenciômetro devagar, mantendo seu olho no LED. Quando o LED acender, pare de ajustar o potenciômetro.**

   Observe a leitura no multímetro. A voltagem do LED está perto de 2,0 V?

5. **Continue a ajustar para baixo o potenciômetro, observando o LED.**

   O que está acontecendo com a luz?

6. **Ajuste o potenciômetro até o 0 Ω e observe a intensidade do LED. Note a leitura de voltagem em seu multímetro.**

   A voltagem do LED mudou muito na medida em que a luz aumentou?

Para entender por que o LED estava apagado quando o potenciômetro estava em 10 kΩ, e então acendeu quando você diminuiu a resistência do potenciômetro, considere o circuito se você remover o LED. O circuito é um divisor de tensão, e a voltagem no resistor R3 (que é a mesma voltagem do LED) é dada pela razão da resistência vezes a voltagem de alimentação:

$$\begin{aligned} V_{LED} &= \frac{R3}{R1 + R2 + R3} \times 9\text{ V} \\ &= \frac{1{,}000}{1{,}000 + R2 + 1{,}000} \times 9\text{ V} \\ &= \frac{1{,}000}{2{,}000 + R2} \times 9\text{ V} \end{aligned}$$

Se a resistência do potenciômetro for alta (digamos, 10 kΩ), a voltagem no LED será bem pequena (uns 0,75 V). Quando a resistência do potenciômetro for baixa o suficiente, a voltagem no LED aumentará o suficiente para acendê-lo. A V_{LED} vai subir até uns 2,0 V quando R2 diminuir até uns 2,5 kΩ. Coloque 2.500 em R2 na equação acima para ver por você mesmo! Claro, seu LED específico pode acender em alguma voltagem ligeiramente diferente, digamos que na faixa de 1,7 V a 2,2 V. Se você medir a resistência do seu potenciômetro no ponto em que o LED acender, verá um valor de resistência ou um pouco mais baixo, ou um pouco mais alto do que 2,5 kΩ.

Você pode também observar a corrente fluindo pelo LED seguindo estes passos:

1. **Abra o circuito entre o cátodo (lado negativo) do LED e o terminal negativo da bateria.**
2. **Insira seu multímetro em série onde você interrompeu o circuito, e coloque-o para medir Amperes DC.**
3. **Comece com seu potenciômetro em 10 kΩ. Na medida em que você reduzir o valor do potenciômetro, observe a leitura de**

corrente. Anote a leitura quando o LED acender pela primeira vez. Então continue a diminuir o potenciômetro e observe as leituras de corrente.

Você deverá ver a corrente aumentar até mais do 5 mA na medida em que a luz se intensificar.

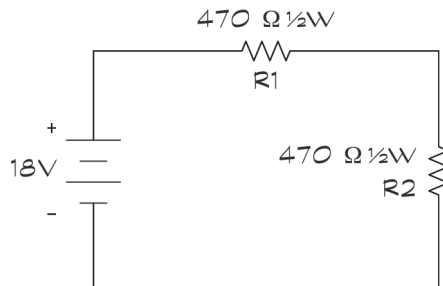
De um modo geral, você perceberá que o LED se acende quando sua voltagem se aproxima de 2,0 V, com apenas uma pequena corrente passando por ele nesse ponto. Ao aumentar a corrente através do LED, a luz se intensifica, mas a queda de tensão permanece estável.

Cortando voltagens

Quando uma voltagem inversa, grande o suficiente, é aplicada a um diodo Zener, ele mantém uma queda de tensão fixa, mesmo que a corrente através dele aumente dentro de uma faixa. Veja o Capítulo 6 para mais detalhes sobre diodos Zener. Siga estes passos para testar a queda de tensão:

1. **Prepare o simples circuito divisor de tensão da Figura 14-7, conectando duas baterias de 9 V em série para criar uma fonte DC de 18 V.**

   Certifique-se de utilizar resistores de ½W para este circuito.

Figura 14-7: Este simples divisor de tensão divide igualmente a voltagem de alimentação entre dois resistores.

2. **Meça a voltagem de alimentação total, e então meça a voltagem em R2.**

   Deve ser por volta de metade da voltagem de alimentação, uns 9 V.

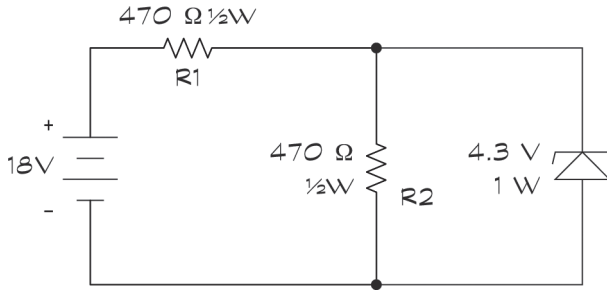
3. **Meça a voltagem em R1.**

   Deve ser uns 9 V. Os resistores estão dividindo a tensão de alimentação igualmente.

4. **Agora modifique o circuito, como mostrado na Figura 14-8, colocando um diodo Zener 4,3 V de 1W (1N4731) em R2, com o ânodo (lado positivo) do diodo conectado ao terminal negativo da bateria.**

5. **Meça a voltagem em R2, que é a mesma que a voltagem do diodo Zener.**

   Ela ainda está por volta de 9 V? Ou está uns 4,3 V? (A tolerância do diodo Zener – a variabilidade da real voltagem do componente – pode ser ±10%, então a voltagem pode variar de 3,9 V até 4,7 V.)

Figura 14-8: Adicionar um diodo Zener regulará a voltagem em R2.

   O diodo Zener regula a voltagem em R2. Então para onde foi o resto da voltagem de alimentação?

6. **Meça a voltagem no resistor R1.**

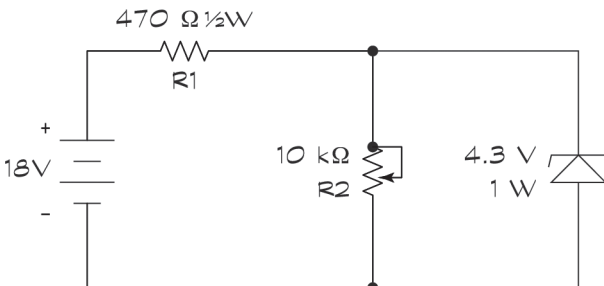
   Ela aumentou desde que você colocou o diodo Zener? (Ela deve medir uns 13,7 V.)

7. **Agora remova a energia e substitua o resistor R2 por um potenciômetro de 10 kΩ (veja a Figura 14-9).**

8. **Ligue o circuito e meça a voltagem em R2.**

9. **Varie o potenciômetro de 0 Ω até 10 kΩ e observe a leitura da voltagem.**

   Você viu a voltagem subir gradualmente de 0 V até alcançar a voltagem Zener, e então permanecer nesta voltagem enquanto você continuava a aumentar a resistência R2? O diodo Zener mantém a voltagem de saída, mesmo se a carga no circuito (representada pelo potenciômetro) variar.

Figura 14-9: Mesmo se a resistência da carga variar, o diodo Zener mantém firme a voltagem de saída.

Ganhando Experiência com Transistores

Nas próximas seções, você verá como pequenos transistores são utilizados para controlar a corrente em um circuito (na saída do transistor) utilizando componentes eletrônicos em outro circuito (na entrada do transistor). É disso que se trata o transistor!

Amplificando corrente

Você pode usar o circuito da Figura 14-10 para demonstrar a capacidade de amplificação de um transistor. Veja o que você precisa fazer:

1. **Construa o circuito utilizando um transistor NPN de uso geral, tal como o 2N3904 ou BC548.**

   Seja cuidadoso para conectar os terminais base, coletor e emissor apropriadamente.

2. **Ajuste o potenciômetro para que a resistência seja 1 MΩ.**

   No livro, a Figura **14-10** está inserida no meio do **LED 2** desta lista e há uma caixa cinza de texto quebrando a continuidade da lista numérica da LED 1.

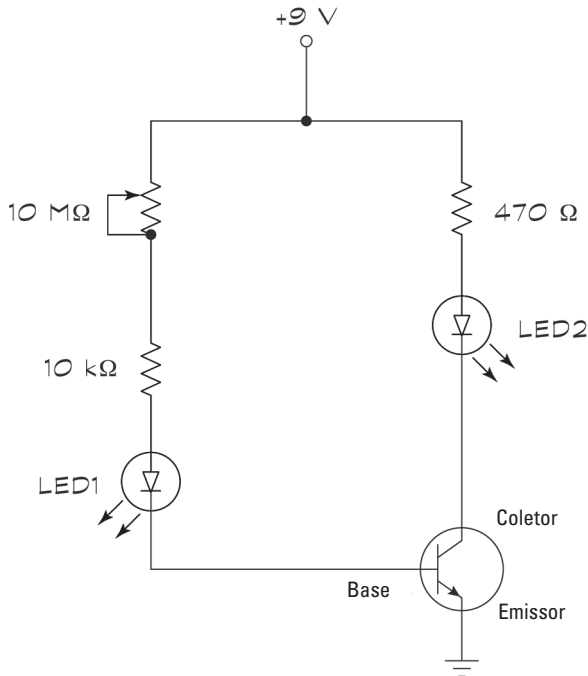



Figura 14-10: Um par de LEDs ajuda você a visualizar as capacidades de amplificação de um transistor.

Medindo correntes minúsculas

A corrente de base do transistor bipolar na Figura 14-10, que passa através do LED1 será muito pequena, especialmente quando o potenciômetro estiver em sua resistência máxima. Se você quiser medir esta pequenina corrente, poderá fazer isso de três formas diferentes:

- Você pode fazer a medida diretamente, abrindo o circuito em um dos lados do LED1, inserindo o multímetro, e colocando em Amperes DC. A corrente é tão pequena que pode não ser registrada no seu medidor.
- Você pode medir a corrente indiretamente, utilizando a Lei de Ohm para ajudá-lo. A mesma corrente que passa através do LED1 e para a base do transistor, também passa por dois resistores: o resistor de 10 kΩ e o potenciômetro. Você pode medir a queda de tensão em qualquer dos resistores e dividir a voltagem lida pela resistência. Lembre-se, a Lei de Ohm diz a você que a corrente que passa através de um resistor é igual à voltagem no resistor dividida pela resistência.
- Se você realmente quiser uma medida exata, desligue a energia do circuito, tire o resistor do circuito, e meça sua resistência exata com o multímetro. Então faça o cálculo da corrente. Utilizando este método nós medimos uma corrente de base de 6,1 µA (isto é 0,0000061 A).

3. **Agora, ajuste para baixo e devagar o potenciômetro e observe os LEDs.**

   Você verá o LED2 ficar gradualmente mais brilhante na medida em que você ajusta para baixo o potenciômetro. Em algum ponto, começará a ver a luz do LED1 também, mas o LED2 é claramente mais brilhante que o LED1.

Você está testemunhando a ação de transistor: a pequena corrente de base passando pelo LED1 é amplificada pelo transistor, que permite que uma corrente muito maior flua por LED2. Você vê um fraco brilho do LED1 por causa da pequena corrente na base, e um forte brilho do LED2 por causa da corrente mais forte no coletor. Você pode medir cada corrente, se quiser. (Veja a caixa lateral “Medindo correntes minúsculas” para uma dica sobre como medir a pequena corrente na base.)

Com o potenciômetro colocado em 1 MΩ, nós medimos uma corrente na base de 6,1 µA (isto são 0,0000061 A) e uma corrente no coletor de 0,8 mA. Dividindo a corrente do coletor pela da base, descobrimos que o ganho de corrente desse circuito com transistor é 131. Com o potenciômetro colocado em 0 Ω, medimos uma corrente na base de 0,61 mA e uma corrente de coletor de 14 mA, para um ganho de corrente de aproximadamente 23. Bem intenso!

O interruptor está ligado

O circuito na Figura 14-11 é um interruptor de toque. Ele usa um par de transistores NPN para amplificar uma corrente de base realmente pequena

o suficiente para acender um LED. Esta configuração de dois transistores bipolares, com seus coletores conectados e o emissor de um alimentando a base do outro, é conhecido como *Par Darlington*.

Para testá-lo, prepare o circuito, utilizando qualquer transistor NPN de uso geral (como o 2N3904 ou BC548). Feche o circuito colocando seu dedo entre o circuito aberto mostrado na Figura (não se preocupe, você não vai se machucar). O LED acendeu? Quando você fecha o circuito, sua pele conduz uma corrente muito pequena (uns poucos microamperes), a qual é amplificada pelo par de transistores, acendendo o LED. Tocante, não?

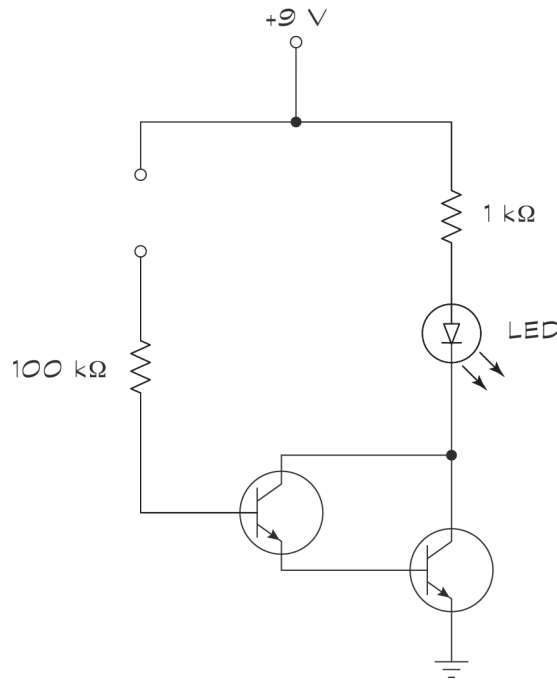



Figura 14-11: Um par Darlington pode ser utilizado como um interruptor de toque.

Utilizando Sua Lógica

Pequenos circuitos digitais chamados *portas lógicas* aceitam um ou mais bits (dígitos binários) como entradas e produzem um *bit* de saída que depende da função da porta em particular. Você pode ler sobre portas lógicas no Capítulo 7. Portas lógicas formam o bloco de construção básico de sistemas digitais avançados, como o microprocessador que realiza todo processo do seu computador.

Dentro de cada porta lógica existe um bando de componentes eletrônicos arrumados juntos, de maneira correta para realizar a função lógica designada. Você encontra portas lógicas em circuitos integrados (CIs)

completados com diversos pinos que lhe permitem acessar as entradas, saídas e conexões de alimentação do circuito digital interno.

Nesta seção, você descobrirá como fazer as conexões certas em um CI de porta lógica NAND, e observará a mudança na saída na medida em você brinca com as várias combinações de entradas. Então, descobrirá como criar outro tipo de porta lógica, uma porta OR, combinando portas NAND da forma correta.

Vendo a luz no fim da porta NAND

O circuito na Figura 14-12 utiliza um LED para indicar os estados alto e baixo da saída de uma porta NAND de duas entradas. Prepare o circuito, utilizando uma das quatro portas NAND do CI 4011 quad 2-input. Este é um *chip* CMOS que é sensível à estática, então certifique-se de rever as precauções delineadas no Capítulo 9 para evitar danificar o *chip*. Para os interruptores, você pode simplesmente utilizar fios *jumper*, inserindo uma ponta na sua *protoboard* e movendo a outra ponta para abrir ou fechar o interruptor.

Lembre-se que a saída de uma porta NAND ("NOT AND") é alta sempre que qualquer uma ou ambas as entradas forem baixas, e a saída da porta NAND é baixa apenas quando ambas entradas forem altas. Você pode revisar a funcionalidade das portas lógicas no Capítulo 7. "Alto" é definido pela fonte de alimentação positiva (9 V) e "baixo" é 0 V.

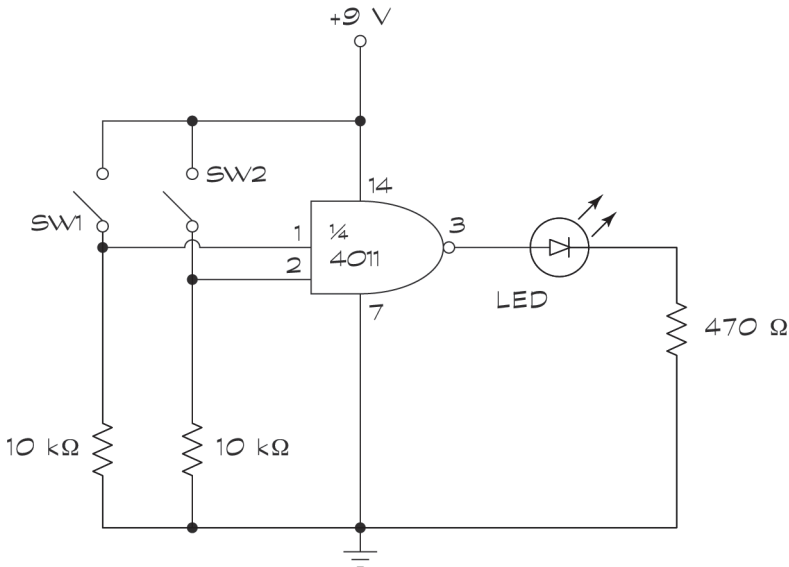



Figura 14-12: Use um LED para mostrar a saída de uma porta lógica NAND.

Quando você fecha um dos interruptores, faz essa entrada ser alta porque você conecta a fonte de alimentação positiva à entrada. Quando abre um dos interruptores, você faz essa entrada ser baixa porque ela está conectada ao terra (0 V) através de um resistor.

Teste a funcionalidade da porta NAND tentando todas as quatro combinações de interruptores abertos e fechados, preenchendo a tabela dada aqui (que é essencialmente uma tabela verdade).

Entrada 1	*Entrada 2*	*Saída (Alto = LED ligado; Baixo = LED desligado)*
Baixo (SW1 aberto)	Baixo (SW2 aberto)	
Baixo (SW1 aberto)	Alto (SW2 fechado)	
Alto (SW1 fechado)	Baixo (SW2 aberto)	
Alto (SW1 fechado)	Alto (SW2 fechado)	

Você viu o LED se acender quando um ou ambos os interruptores estavam abertos? O LED desligou quando ambos os interruptores foram fechados? Fale a verdade!

Transformando três portas NAND em uma porta OR

Você pode combinar diversas portas NAND para criar qualquer outra função lógica. No circuito da Figura 14-13 a seguir, três portas NAND são combinadas para criar uma porta OR. As entradas para a porta OR são controlas pelos interruptores SW3 e SW4. A saída da porta OR é indicada pelo estado ligado/desligado do LED.

Cada uma das portas NAND à esquerda funciona como uma porta NOT (ou inversora). Cada porta NAND junta as entradas de forma que uma entrada baixa produza uma saída alta, e uma entrada alta produza uma saída baixa. A porta NAND à direita produz uma saída alta quando um ou ambas suas entradas forem baixas, o que acontece quando um ou ambos os interruptores (SW3 e SW4) estão fechados. A base é que se um dos ou ambos os interruptores estiverem fechados, a saída do circuito é alta. Isso é uma porta OR!

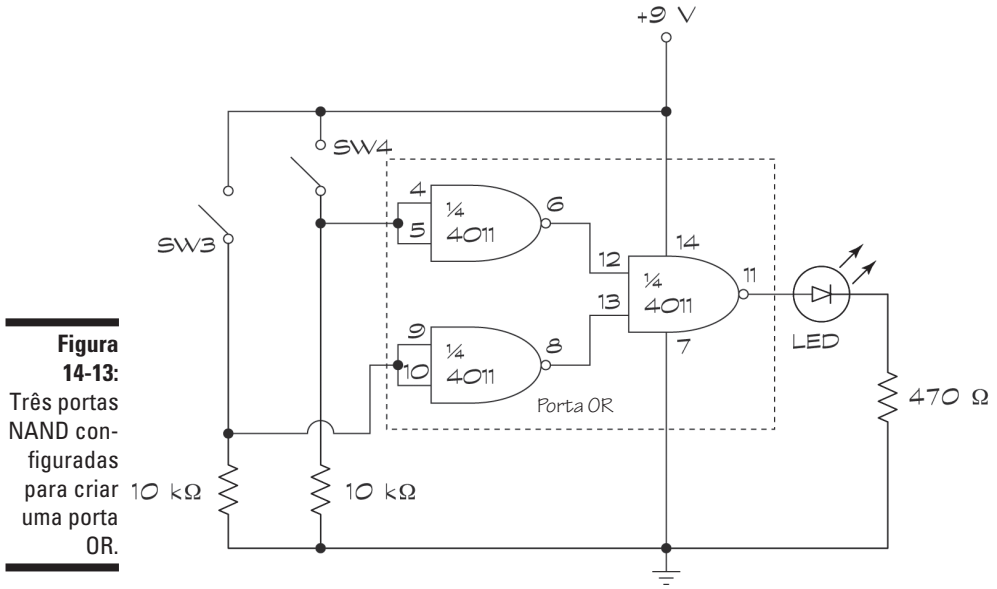



Figura 14-13: Três portas NAND configuradas para criar uma porta OR.

Prepare o circuito, tomando cuidado para evitar a estática. Você pode usar as três portas NAND restantes no CI 4011 que usou para construir o circuito na Figura 14-12. Teste a funcionalidade abrindo e fechando os interruptores. O LED deve acender quando um dos ou ambos os interruptores estiverem fechados.

Capítulo 15

Grandes Projetos que Você Pode Construir em 30 Minutos ou Menos

Neste Capítulo:

- Criando exclusivos piscadores de luz e *flashes* de luz
- Botando pressão com a piezoeletricidade
- Enxergando como um gato com sensor infravermelho
- Disparando alguns alarmes
- Encontrando o caminho com sua própria bússola eletrônica portátil
- Ressoando com seu amplificador
- Trazendo a presença da água para a luz

Acelerar o passo em eletrônica realmente vale a pena quando você chega ao ponto onde pode realmente construir um ou dois projetos. Neste capítulo, você vai brincar com divertidos *gadgets* eletrônicos, interessantes e educacionais que poderá construir em meia hora ou menos. Nós selecionamos os projetos pelo seu alto fator de diversão e simplicidade. Mantivemos as partes em um mínimo.

Daremos a você alguns procedimentos detalhados para o primeiro projeto, então trabalhe neste primeiro. Depois, deverá ser capaz de seguir o esquema do circuito e construir o resto dos projetos por conta própria. Reveja o Capítulo 10 se precisar relembrar algo sobre esquemas, e folheie o Capítulo 2 se quiser rever os conceitos básicos sobre circuitos. E se os projetos não parecerem funcionar como o prometido (acontece com os melhores de nós), reveja o Capítulo 12, arme-se com um multímetro, e comece a depurar!

Obtendo o Que Você Precisa, Logo de Saída

Você pode construir todos os projetos deste capítulo, exceto a bússola eletrônica, em uma *protoboard* sem solda. Claro, sinta-se à vontade para construir qualquer um dos projetos em uma placa para solda comum, se você quiser mantê-lo por perto. Há mais detalhes sobre *protoboards* e construção de circuitos no Capítulo 11. Se você ficar empacado em qualquer um desses projetos, pule para este capítulo.

Com uma exceção (de novo este estranho projeto da bússola eletrônica, mas que vale a pena, você pode encontrar as partes que precisa para construir os projetos deste capítulo em qualquer loja de eletrônica ou revendedor on-line de eletrônica. Se não tiver uma loja de eletrônica boa por perto, dê uma olhada no Capítulo 17 e no Apêndice para encontrar alguns fornecedores de peças de eletrônica por correio.

A menos que seja explicitamente dito, use estas linhas gerais ao selecionar componentes:

- Todos os resistores classificados como sendo de $^1/_4$ W ou $^1/_8$ W e com tolerância de 5% ou 10%.
- Todos os capacitores classificados com um mínimo de 25 V. Mostramos o tipo de capacitor que você precisa (disco, eletrolítico ou tântalo) nas listas de parte para cada projeto.

Se você quiser entender o funcionamento de um ou mais dos componentes eletrônicos que usará nesses projetos, reveja o material nos Capítulos 3-4 e 6-8. Você encontrará informação sobre resistores no Capítulo 3 e um tratado sobre capacitores no Capítulo 4. O Capítulo 6 explica diodos e transistores, e dois dos circuitos integrados (CIs) utilizados nesses projetos são cobertos no Capítulo 7. Fios, fontes de energia e outras partes (por exemplo, sensores, alto-falantes e campainhas) são discutidos no Capítulo 8.

Criando Luzes Bacanas, Loucas e Piscantes

Sua primeira missão – caso escolha aceitá-la – é construir um circuito contendo um diodo emissor de luz (LED) que pisca. Pode parecer simples (e, graças ao CI timer 555, é mesmo), mas fazer que isso funcione significa que você deva necessariamente construir um circuito completo, limitar a corrente no seu circuito para que ela não frite seu LED, e preparar um *timer* para ligar e desligar a corrente de forma que o LED pisque. É bastante coisa para um primeiro projeto!

Você pode ver o esquema para o projeto de luz piscante na Figura 15-1. (Se necessitar de um rápido curso de recapitulação sobre a leitura de esquemas, vá até o Capítulo 10.) Esta figura mostra a você como conectar o CI timer 555 a um LED e que outras partes você precisa para energizar o circuito, limitar a corrente e controlar o tempo da luz. Antes de construir este circuito, você poderá fazer uma rápida análise para entender exatamente como ele funciona.

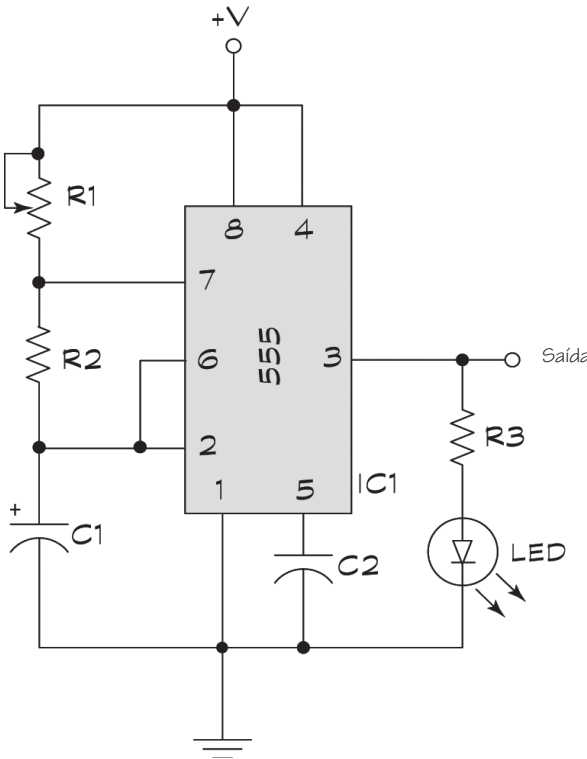



Figura 15-1: Esquema do circuito piscador de LED.

Dando uma olhada mais de perto no piscador 555

A pedra fundamental desse projeto de luz piscante (assim como de outros projetos neste capítulo) é o CI timer 555. Você pode usar essa peça versátil em uma variedade de maneiras, como explicado no Capítulo 7. Para esse projeto, o timer 555 é configurado como um *multivibrador astável*, gerando uma série contínua de pulsos on/off a intervalos regulares, como um tipo de metrônomo eletrônico. A saída do CI timer 555, no pino 3, é o que você usará para fazer a corrente do LED ligar e desligar.

Limitando a corrente através do LED

O resistor R2 está aqui para evitar que você frite seu LED. Este pequeno resistor realiza o importante trabalho de limitar a corrente passando através do LED. A voltagem de saída no pino 3 do timer 555 varia entre 9 V (a fonte de alimentação positiva) quando o pulso está on e 0 (zero) V quando o pulso está off. Assumindo que a queda de tensão direta no LED seja de uns 2,0 V (um valor típico), você saberá que quando o pulso estiver on, a queda de tensão no resistor R3 será de uns 7 V. Se Você conseguir esse resultado, pegando os 9 V do pino 3 e subtraindo os 2 V do LED, daí, poderá usar a Lei de Ohm (ver Capítulo 3) para calcular a corrente através de R3, que é a mesma que a corrente através do LED, como segue:

$$\text{corrente} = {}^{\text{voltagem}}/_{\text{resistência}} = {}^{7\text{ V}}/_{330\,|} \approx 0{,}021 \text{ A} = 21 \text{ mA}$$

Agora sim, esta é uma corrente que o seu LED pode aguentar!

Controlando o tempo do pulso

Como descrevemos no Capítulo 7, tanto a largura quanto o intervalo de on/off do pulso gerado pelo CI timer 555 são controlados por um par de resistores (R1 e R2) e um capacitor (C1) conectados ao CI timer 555. Esse projeto usa um potenciômetro para variar R1 de forma que você possa mudar a taxa de piscagem de uma valsa lenta a um samba rápido.

Se realmente quiser analisar e entender esse circuito, reveja as equações sobre tempo de pulsos no Capítulo 7, substitua os valores que você usa para R1 (depois de medir a resistência variável do potenciômetro com seu multímetro), R2 e C1; veja se a luz pisca aproximadamente na mesma taxa que seus cálculos diziam que iria.

Esse circuito acaba sendo um equipamento útil de teste. Conecte a saída do 555 (pino 3 do chip) a algum outro projeto e use esse circuito como a fonte de sinal. Você pode ver como isso funciona em diversos dos outros projetos neste capítulo que são construídos em torno do chip 555.

Construindo o circuito da luz piscante

É fácil construir o circuito piscador de LED. Use a Figura 15-2 como seu guia. Note que as conexões ao lado positivo da fonte de alimentação são feitas ao longo do topo da *protoboard*, e as conexões terra ao longo da parte de baixo da *protoboard*.

Há um pouco mais de espaço entre os componentes para tornar fácil ver onde todas as partes vão. Você deveria construir utilizando um pouco mais de espaço, em vez de espremer tudo junto, de forma que você pudesse ver o que estava fazendo.

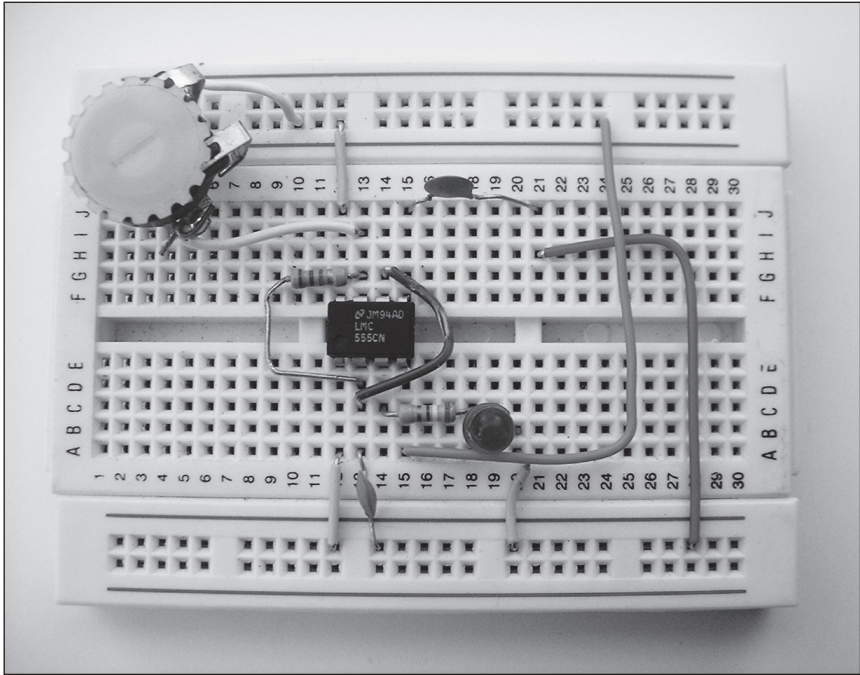



Figura 15-2: Um piscador de LED com as partes montadas numa *protoboard.*

Revendo rapidamente as partes do piscador de LED

Aqui estão as partes que você precisa para construir o circuito piscador de LED:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **CI1:** CI timer LM555
- **R1:** Potenciômetro de 1 MΩ
- **R2:** Resistor de 47 kΩ
- **R3:** Resistor de 330 Ω
- **C1:** Capacitor (polarizado) de tântalo de 1 µF
- **C2:** Capacitor (não polarizado) de disco de 0,1 µF
- **LED:** Diodo emissor de luz (qualquer cor)

Começando a construção do piscador de LED

Siga estes passos para construir o circuito piscador de LED:

1. **Pegue todos os componentes que você precisa para o projeto antecipadamente. Verifique a lista de partes acima para ver o que precisa.**

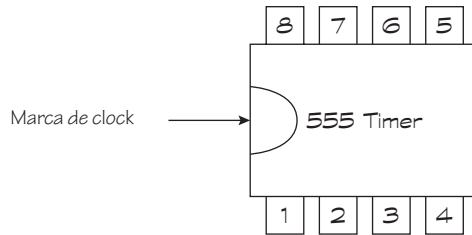
   Não há nada pior do que começar um projeto e ter que parar no meio do caminho porque você não tem tudo à mão!

2. **Cuidadosamente insira o chip timer 555 no meio da placa.**

   É prática comum inserir um CI de forma que ele fique em cima da linha vazia no meio da *protoboard* e que o *marca de clock* (*clocking notch* – o pequeno rebaixamento em um dos lados do chip) fique para a esquerda da placa.

3. **Insira os dois resistores fixos, R2 e R3, na placa, seguindo o esquema e o exemplo de protoboard da Figura 15-2.**

   Como notado no Capítulo 7, os pinos do chip de CI são numerados no sentido anti-horário, começando na marca de clock. Então, se você posicionar o CI timer 555 com a marca de clock para o lado esquerdo da placa, as conexões dos pinos serão como as mostradas na Figura 15-3.

Figura 15-3: Conexões dos pinos para o CI timer 555.

4. **Insira os dois capacitores, C1 e C2, na placa, seguindo o esquema e o exemplo de protoboard da Figura 15-2.**

   Certifique-se de orientar o capacitor polarizado corretamente, com seu lado negativo conectado ao terra.

5. **Solde fios ao potenciômetro (R1) para conectá-lo na protoboard.**

   Use fio sólido de gauge 22. A cor não importa. Note que o potenciômetro tem três conexões nele. Uma conexão (em um dos lados) vai no pino 7 do 555; as outras duas conexões (a do outro lado e a do centro) são agrupadas e postas no lado positivo da fonte de alimentação.

6. **Conecte o LED como mostrado no esquema e na foto.**

   Observe a orientação apropriada ao inserir o LED: conecte o cátodo (lado negativo, com o terminal menor) do LED ao terra. Verifique o pacote que veio com seu LED para ver se você entendeu direito. Se não, e você inseriu o LED ao contrário, nada de mal irá acontecer, mas o LED não irá acender. Simplesmente remova o LED e reinsira-o do outro jeito.

7. **Use um fio de gauge 22, preferencialmente já cortado e descascado para uso em protoboard sem solda, para finalizar as conexões.**

Use a *protoboard* de exemplo mostrada na Figura 15-2 como um guia para fazer essas conexões com fios *jumper*.

8. ***Antes* de energizar, verifique novamente seu trabalho. Verifique as conexões apropriadas comparando sua fiação com o desenho esquemático.**

9. **Finalmente, fixe a bateria de 9 V às trilhas de alimentação positiva e terra da protoboard.**

   Será fácil se você usar um clipe de bateria de 9 V, que contém terminais pré-descascados. Você pode querer soldar um fio sólido de gauge 22 às pontas dos terminais do clip; isso tornará mais fácil inserir os fios na *protoboard*. Lembre-se: o terminal vermelho do clip de bateria é o terminal positivo da bateria, e o terminal preto é o terminal negativo, ou terra.

Verificando seu trabalho

Quando você aplicar energia ao circuito, o LED deverá piscar. Gire o botão de ajuste do R1 para mudar a velocidade do piscar. Se o circuito não funcionar, desconecte a bateria de 9 V e verifique novamente as conexões.

Aqui estão alguns erros comuns pelos quais você deve procurar:

- **CI 555 inserido de forma invertida:** Isto pode danificar o chip, então, se acontecer, você pode querer tentar outro 555.
- **LED inserido de forma invertida:** Retire-o e recoloque-o do outro jeito.
- **Fios de conexão e terminais dos componentes não inseridos firmes o suficiente nos soquetes da protoboard:** Certifique-se de que cada fio fique bem firme na *protoboard*, de forma que não haja conexões frouxas.
- **Valores errados dos componentes:** Verifique, só para ter certeza!
- **Bateria morta:** Tente outra.
- **Circuito conectado errado:** Peça a um amigo para dar uma olhada. Um novo olhar pode achar erros que você não tinha percebido.

Você pode usar o multímetro para testar voltagens, correntes e resistências no seu circuito. Como descrito no Capítulo 12, tais testes podem ajudá-lo a identificar a causa dos problemas do circuito. O multímetro pode dizer se sua bateria tem carga suficiente, se seu diodo ainda é um diodo, e muito, muito mais.

Se você estiver construindo um circuito novo para você, é uma boa prática em eletrônica construí-lo em uma *protoboard* sem solda, primeiro. Isso é por causa da frequente necessidade de ajustar um circuito para fazer com que ele funcione direito. Quando você tiver trabalhado até ficar satisfeito, então poderá fazer o circuito ficar permanente, se quiser. Tome seu tempo – e lembre-se de verificar (e reverificar) seu trabalho. Não se preocupe – você vai se tornar experiente em pouco tempo.

Fazendo um Pequeno Som com Piezoeletricidade

Nem todos os circuitos elétricos exigem baterias, resistores, capacitores, transistores ou qualquer dos outros componentes que você usualmente acha em um circuito eletrônico. Este projeto consiste de uma luz de néon que brilha quando você dá uma leve batida em um disco piezoelétrico, que gera sua própria eletricidade. Ele serve como grande demonstração de uma coisa chamada piezoeletricidade.

Piezo – o quê?

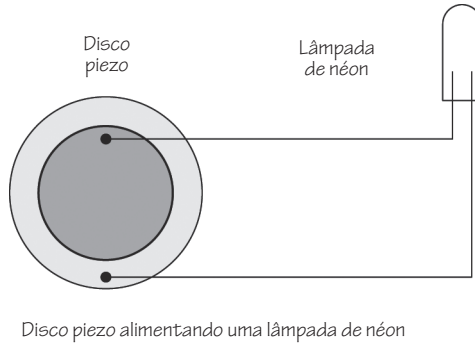
O termo *piezo* vem de uma palavra grega que significa pressionar ou apertar. Muitos anos atrás, algumas pessoas curiosas e com muito tempo livre descobriram que é possível gerar eletricidade pressionando certos tipos de cristais realmente duros. Da mesma maneira, esses cristais mudam de forma – apesar de ser apenas um pouquinho – quando você aplica eletricidade a eles. Isso acabou se tornando uma importante descoberta, porque nós usamos piezoeletricidade em toneladas de equipamentos do dia a dia, tais como relógios de quartzo, campainhas de alarme, captadores de guitarra, acendedores de fogão – e muitos outros equipamentos.

Lançando luz na piezoeletricidade

A Figura 15-4 mostra um simples circuito com um piezo disco simples e um simples bulbo de néon. Aqui está a lista das (muito poucas) partes que você precisa para construir este circuito e observar a piezoeletricidade em ação:

- Um simples piezo disco (o tipo que você usa em campainha, preferencialmente com dois fios soldados nele)
- Bulbo de néon
- Duas garras jacaré
- Alguma coisa não muito pesada para bater no disco, algo como a chave de fenda ou uma baqueta de bateria (não uma marreta)

Você pode encontrar piezo discos na maioria das lojas de eletrônica reais e online. Discos de piezo são baratos e algumas vezes vêm com dois fios já soldados. Se comprar um com apenas um fio, simplesmente conecte outro fio à borda do metal do disco para a conexão terra. Bulbos de néon, vendidos em lojas de eletrônica, são especiais porque não acendem, a menos que você forneça a eles pelo menos 90 V. Isso é bastante carga! Mas o piezo disco facilmente gera essa energia.

Figura 15-4: Tente este simples circuito para demonstrar as propriedades da piezoeletricidade.

Para construir o circuito da Figura 15-4, siga estes passos:

1. **Coloque o disco em uma superfície isolante.**

   Uma superfície de madeira ou plástico funciona bem; não use uma superfície feita de metal.

2. **Utilize duas garras jacaré de teste para conectar o disco e o bulbo de néon juntos, como mostrado na Figura 15-5.**

Figura 15-5: Conecte o disco e a lâmpada de néon utilizando garras jacaré.

Conecte um terminal de teste do fio vermelho do disco a uma conexão da lâmpada de néon (não importa qual conexão). O outro terminal de teste vai do fio preto do disco à outra conexão da lâmpada.

3. **Coloque o disco na mesa.**
4. **Com a parte plástica de uma chave de fenda, bata forte no disco.**

   Cada vez que você bater no disco, a lâmpada de néon piscará.

Evite tocar os dois fios que vêm do disco. Apesar do choque que você levar não ser perigoso, definitivamente não vai ser uma sensação boa!

Preparando uma linha de bateria

Você pode incrementar o simples circuito de piezoluz para criar sua própria bateria musical de luz. Aqui está como impressionar sua plateia:

1. **Amarre uma linha de discos e bulbos.**
2. **Cole esses conjuntos em uma base plástica.**
3. **Pegue um par de baquetas, diminua as luzes e percussione os discos no tempo da sua música de ambiente favorita.**

Enxergando no Escuro com um Detector de Infravermelho

Você alguma vez quis enxergar no escuro como um gato? Agora você pode – construindo um simples detector de infravermelho, como mostrado na Figura 15-6. O circuito usa apenas três partes (mais uma bateria). Você pode fazer o circuito ficar um pouco mais estiloso, adicionando um interruptor SPST (polo único, throw único) entre o lado positivo da bateria e o fototransistor para ligar e desligar o detector – ou você pode ir do jeito simples e apenas desplugar a bateria quando não estiver usando o detector.

Detectando partes para o detector de infravermelho

Simples e rápido, aqui está a lista do que você vai precisar para construir este projeto:

- **Bateria de 9 V** (com clip de bateria opcional)
- **Q1:** Fototransistor infravermelho (este circuito simples usa um RadioShack 0145, mas quase qualquer um fototransistor deverá funcionar direito)
- **R1:** Resistor 330 Ω
- **LED:** Diodo emissor de luz (qualquer cor)

Certifique-se de usar um fototransistor, e não um fotodiodo, neste circuito. Eles parecem a mesma coisa pelo lado de fora, então verifique o pacote. Também certifique-se de dar a orientação correta para o fototransistor e o LED. Se você encaixar qualquer um do jeito errado, o circuito não funcionará.

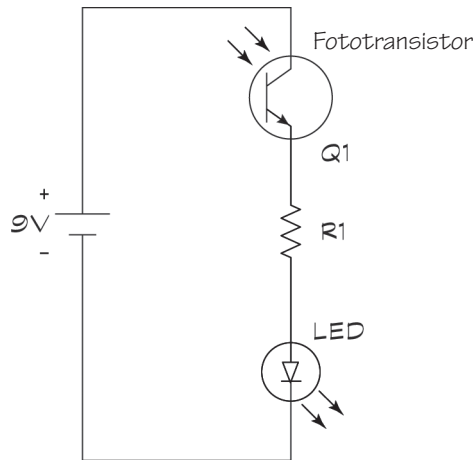



Figura 15-6: Esquema do detector de infravermelho.

Procurando fontes de infravermelho

Usando o detector, você pode testar a emissão de infravermelho de um grande número de fontes. Aqui estão apenas duas ideias para tentar:

- **Chegando ao fundo do dilema do controle remoto:** Como controles remotos utilizam luz infravermelha invisível, você pode ter uma tarefa difícil para entender o que está errado, quando eles pararem de funcionar. O problema está no controle, ou você deveria culpar sua TV ou outro equipamento? Para testar o controle remoto, coloque-o contra o fototransistor infravermelho. Pressione qualquer botão no controle; se o LED do seu projeto piscar, você saberá que tem um controle que funciona.
- **Contra vigilância:** Verifique se há uma câmera escondida no seu quarto. Hoje em dia, câmeras ocultas (como a da Figura 15-7) podem “ver” no escuro utilizando uma fonte brilhante de luz infravermelha. Você pode usar o circuito detector para encontrar essas fontes de luz

infravermelha – mesmo que você próprio não possa ver. Desligue as luzes e escaneie a sala, segurando o detector e movendo-o ao redor da sala. Se o LED piscar, mesmo que você não veja a fonte de luz, você poderá ter encontrado a luz infravermelha vindo de uma câmera escondida!

Figura 15-7: Esta câmera em miniatura pode ver no escuro, graças a seus seis diodos emissores de luz infra-vermelha (IR LEDs).

Apesar do fototransistor infravermelho ser mais sensível à luz infravermelha, ele também responde à luz visível. Para melhores resultados, use o detector de infravermelho em um ambiente fracamente iluminado. Luz do sol, e luz direta de lâmpadas de mesa ou outras fontes, podem influenciar as leituras.

Assustando os Caras Maus com uma Sirene

A menos que você carregue um distintivo (um de verdade, não aquele da sua caixa de brinquedos), você não pode prender qualquer um dos caras maus quando dispara a sirene que você construiu nesse projeto, mostrado na Figura 15-8. Mas ela soa bacana, e você poderá utilizá-la como um alarme para notificá-lo se alguém estiver chegando perto do seu baú secreto: coleção de figurinhas premiadas, discos antigos do Frank Sinatra, sua cópia autografada do disco *Mister Spock's Music from Outer Space*, ou o que quer que seja.

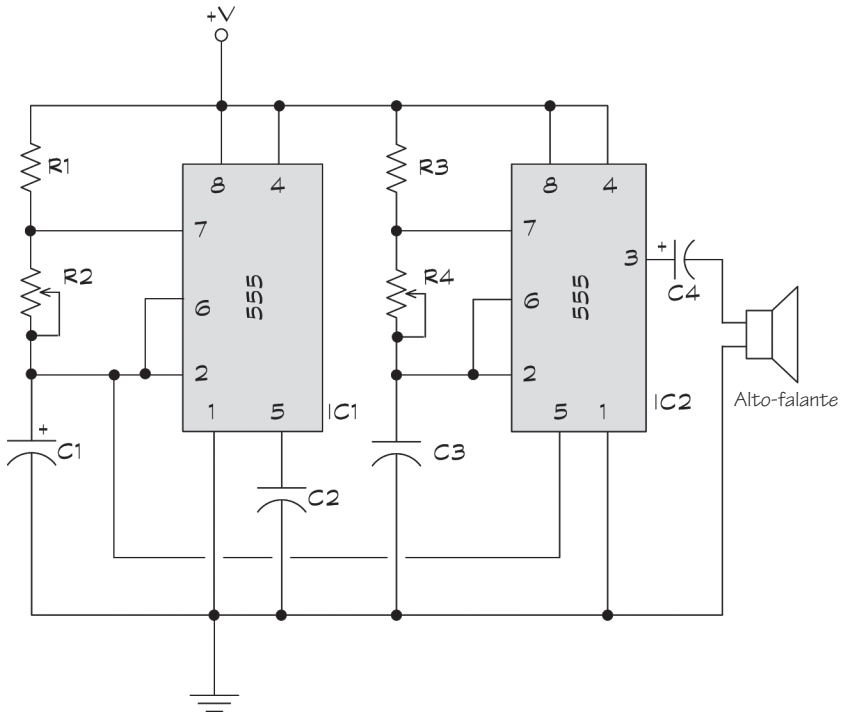



Figura 15-8: Uma do tipo policial feita com dois CIs timer 555.

Buscando a lista de partes da sirene 555

Para começar a alarmar seus amigos, junte estas partes para construir o circuito:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **CI1, CI2:** CI timer LM555
- **R1, R3:** Resistores de 2,2 kΩ
- **R2:** Potenciômetro de 50 kΩ
- **R4:** Potenciômetro de 100 kΩ
- **C1:** Capacitor (polarizado) eletrolítico de 47 µF
- **C2:** Capacitor (não polarizado) em disco de 0,01 µF
- **C3:** Capacitor (não polarizado) em disco de 0,1 µF
- **C4:** Capacitor (polarizado) eletrolítico ou de tântalo de 1 µF
- **Alto-falante:** Alto-falante de 8-ohms e 1 W

Como a sirene funciona

O circuito (veja a Figura 15-8) usa dois chips timer 555. Você arranja ambos os chips de forma a agirem como *multivibradores* astáveis; isto é, eles constantemente mudam sua saída de alta para baixa... de novo e de novo. Os dois *timers* funcionam em frequências diferentes. O chip timer da direita é configurado como um *gerador de tom*, produzindo uma frequência audível em seu pino de saída (pino 3). Conectando um alto-falante em sua saída, você ouve um som a meia altura constante.

O timer da esquerda opera em uma frequência menor do que o da direita, e é utilizado para modular o sinal produzido pelo chip timer na direita. O sinal no pino 2 do chip 555 da esquerda é uma rampa de voltagem que sobe e desce lentamente, e que você conecta ao pino 5 do chip 555 da direita.

Normalmente, você pode esperar ver o sinal do pino 3 do chip 555 da esquerda entrando no chip 555 da direita para disparar o segundo chip. Como discutido no Capítulo 7, o pino 3 de um chip 555 é onde você encontra o pulso de saída de subida e descida pelo qual os timers 555 são famosos. Para essa sirene, você obtém um som mais interessante utilizando um sinal diferente – aquele do pino 2 – para disparar o segundo chip 555. O sinal no pino 2 de chip 555 da esquerda aumenta e diminui devagar na medida em que o capacitor C1 carrega e descarrega. O Capítulo 4 explica como os capacitores carregam e descarregam; essa voltagem do capacitor que sobe e desce dispara a forma de onda de pulso de subida e descida que o 555 coloca no pino 3, o qual você não está usando. Ao inserir essa voltagem de capacitor (do pino 2 do chip 555 na esquerda) no pino de controle (pino 5) do chip 555 da direita, você sobrepõe o circuito de disparo interno do segundo chip, utilizando, em vez disso, um sinal variante de disparo – que ajuda a fazer seu alarme disparar.

Ao ajustar os dois potenciômetros, R2 e R4, você muda a altura e a velocidade da sirene. Você pode produzir toda a sorte de sirenes e outros estranhos efeitos sonoros, ajustando esses dois potenciômetros. Você pode operar esse circuito em qualquer voltagem entre 5 V e 15 V. Para energizar o aparelho, utilize uma bateria de 9 V (incluída na lista de partes na seção anterior).

Perca-se... ou Encontre-se, com a Bússola Eletrônica

Descubra onde você está no mundo com essa superbacana bússola eletrônica! Essa bússola magnética usa a mesma tecnologia que os fabricantes constroem em muitos carros para mostrar eletronicamente a você a sua direção. Quatro LEDs acendem para mostrar os quatro pontos cardeais do mapa: N (norte), S (sul), E (leste) e W (oeste). O circuito ilumina os LEDs adjacentes para mostrar as direções intermediárias, SW, SE, NW e NE. Você pode ver o esquema para a bússola eletrônica na Figura 15-9.

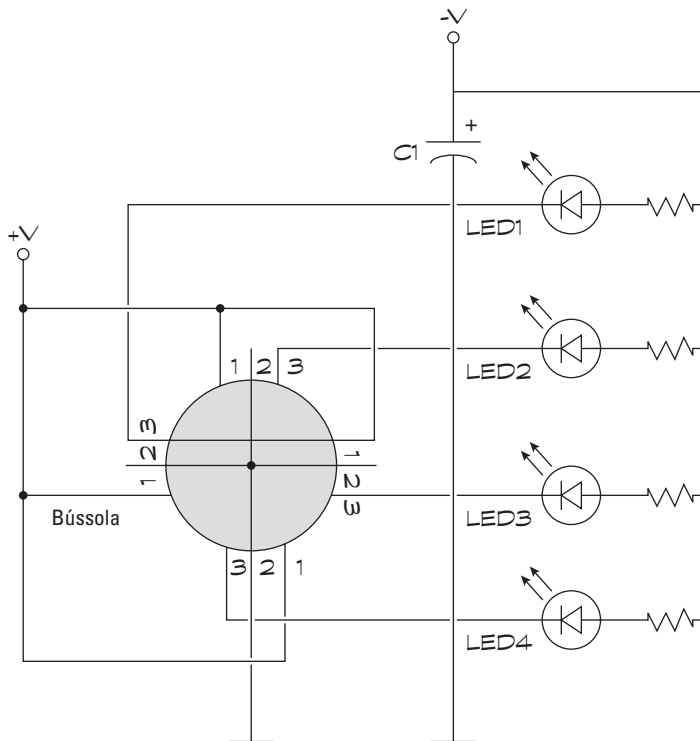



Figura 15-9: Esquema para a bússola portátil.

Verificando as partes para a sua bússola eletrônica

Para colocar você na direção certa, aqui estão as partes que precisa juntar para construir sua bússola:

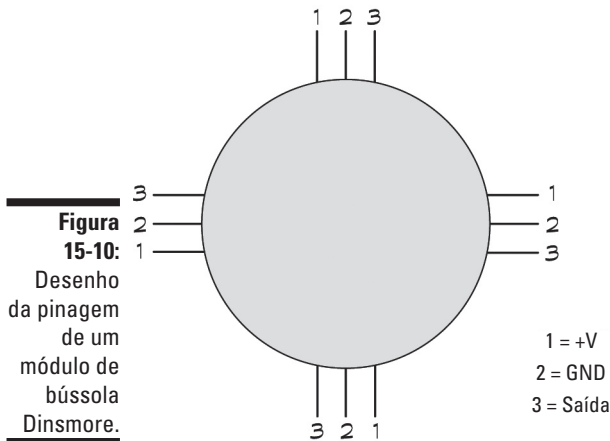
- **Bateria de 9 V**
- **Bússola:** Bússola magnética eletrônica Dinsmore 1490 (veja a próxima seção, “Dando uma olhada na bússola”, para uma descrição detalhada)
- **R1–R4:** Resistores de 1 kΩ
- **C1:** Capacitor eletrolítico (polarizado) de 10 μF
- **LED1–LED4:** Diodos emissores de luz (qualquer cor)
- **Diversos:** Uma caixa para o projeto, interruptor, clipe de bateria (todos opcionais)

Dando uma olhada na bússola

O coração desse projeto é um módulo de bússola especial, o Dinsmore 1490. Este módulo não é uma peça comum. Você tem que fazer um pedido especial, mas poderá se divertir muito com o projeto, fazendo com que o dinheiro pago pelo módulo de bússola valha a pena. Verifique o representante do fabricante em `www.robsonco.com` na procura pela bússola, e não se esqueça de tentar outras possíveis fontes fazendo uma busca no Google ou Yahoo! Tente uma frase de busca: "dinsmore compass" ou " bússola dinsmore".

O módulo de bússola é mais ou menos do tamanho de um dedal. O fundo do sensor tem uma série de 12 pequenos pinos, como você pode ver no desenho de pinagem na Figura 15-10. Os pinos estão arranjados em quatro grupos de três e consistem nos seguintes tipos de conexão:

- Alimentação
- Terra (GND)
- Saída (ou sinal)

Figura 15-10: Desenho da pinagem de um módulo de bússola Dinsmore.

Fazendo uma soldagem cuidadosa, você poderá construir uma bússola eletrônica portátil bem bacana, que poderá levar para onde quiser. Ponha-a em uma pequena caixa com os LEDs dispostos na típica configuração circular N, E, S, W. Você pode comprar caixas em muitas lojas de eletrônica. Elas vêm em uma grande variedade de tamanhos. Selecione uma caixa do tamanho suficiente para conter a placa e a bateria do circuito.

Você pode alimentar a bússola utilizando uma bateria de 9 V. Adicione um interruptor no terminal positivo da bateria para ligar ou desligar, ou simplesmente remova a bateria do local para cortar a energia e desligar sua bússola.

Onde Houver Luz, Você Ouve Este Som...

A Figura 15-11 mostra um esquema de um alarme de luz. A ideia desse projeto é simples: se uma luz entrar, o alarme soa. Você constrói o alarme em torno de um chip timer 555, que age como o gerador de tom. Quando a luz atingir o fotorresistor, a mudança na resistência dispara o transistor Q1. Esta resposta liga o 555, e ele começa a berrar. Você pode ajustar a sensibilidade do alarme mudando o valor de R1, que é um potenciômetro (resistor variável).

Montando a lista de partes do alarme de luz

Aqui está a lista de compras para o projeto do alarme de luminosidade:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **CI1:** CI timer LM555
- **Q1:** Transistor PNP 2N3906
- **R1:** Potenciômetro de 100 kΩ
- **R2:** Resistor de 3,9 kΩ
- **R3:** Resistor de 10 kΩ
- **R4:** Resistor de 47 kΩ
- **C1, C3:** Capacitores em disco (não polarizados) de 0,01 μF
- **C2:** Capacitor de tântalo ou eletrolítico (polarizado) de 1,0 μF
- **Alto-falante:** Alto-falante de 8-ohms e 0,5 W
- **Fotorresistor:** Experimente com tamanhos diferentes; por exemplo, um fotorresistor maior fará o circuito ficar um pouco mais sensível

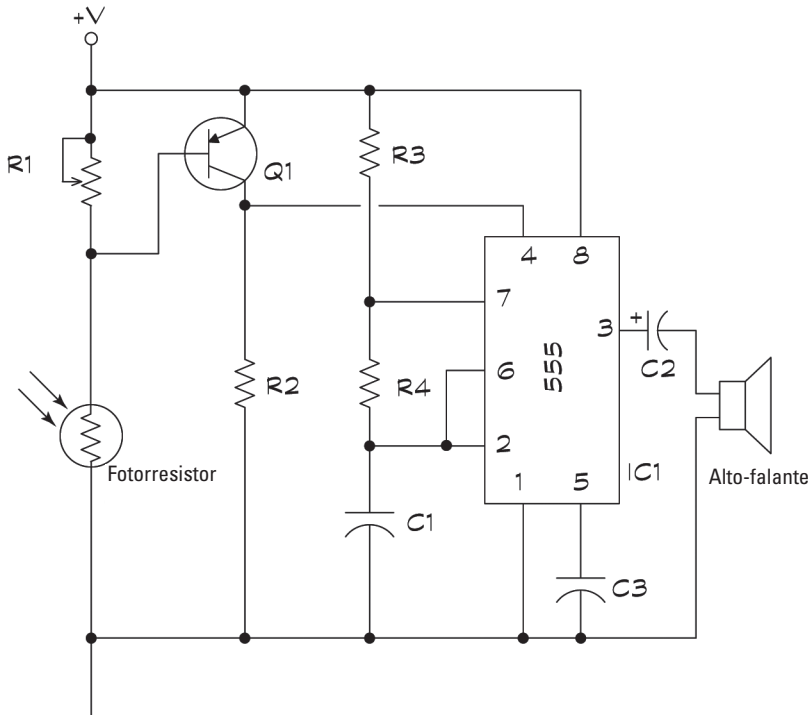



Figura 15-11: Esquema de um alarme de luminosidade.

Fazendo seu alarme trabalhar para você

Você pode aplicar esse útil alarme de luminosidade de diversas maneiras práticas. Aqui estão apenas algumas delas:

- Ponha o alarme de luz dentro do armário da cozinha para que ele dispare sempre que alguém tentar assaltar os biscoitos de chocolate. Mantenha o intruso fora do armário – ou se mantenha na dieta! Quando a porta do armário abrir, a luz entra e o alarme dispara.
- Você tem algum projeto complexo de eletrônica em progresso na garagem, que não quer que ninguém mexa? Coloque o alarme dentro da garagem, perto da porta. Se alguém abrir a porta da garagem durante o dia, a luz entrará e o alarme soará.
- Crie seu próprio galo eletrônico que desperta você quando o dia amanhecer. Quem precisa de relógio despertador?

Pequeno Amplificador, Grande Som

Dê a seus projetos de eletrônica uma grande boca com esse pequeno amplificador, projetado em torno de partes que são baratas e fáceis de achar na maioria dos fornecedores de eletrônica, tal como o CI amplificador de potência LM386. Este amplificador aumenta o volume de microfones, geradores de tom e muitas outras fontes de sinal.

A Figura 15-12 mostra o esquema para este projeto, que consiste de apenas seis partes (incluindo o alto-falante) e a bateria. Você pode operar o amplificador em voltagens entre 5 V e uns 15 V. Uma bateria de 9 V faz o serviço.

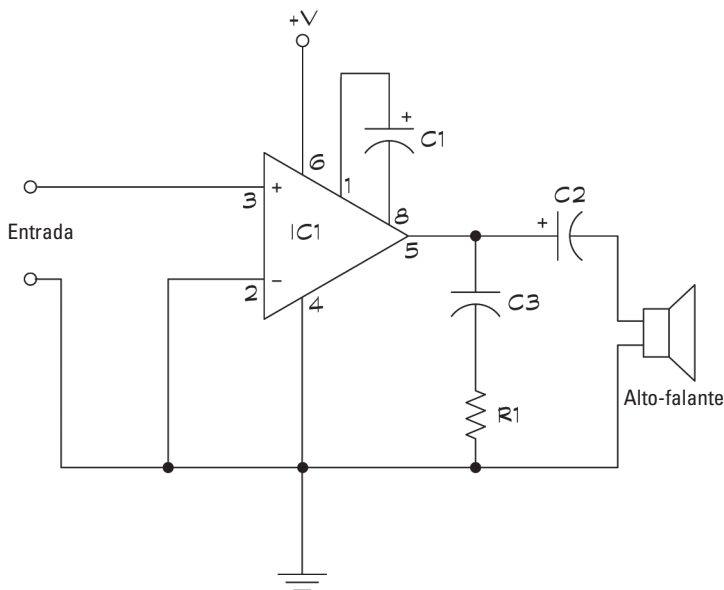



Figura 15-12: Esquema de um pequeno amplificador.

Fazendo a chamada da lista de partes para o pequeno amplificador

Aqui estão as partes que você tem que juntar para este projeto:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **CI1:** Amplificador de potência LM386
- **R1:** Resistor de 10 Ω
- **C1:** Capacitor eletrolítico (polarizado) de 10 μF
- **C2:** Capacitor eletrolítico (polarizado) de 220 μF
- **C3:** Capacitor em disco (não polarizado) de 0,0470 μF
- **Alto-falante:** 8-ohms e 0,5 W

Quanto melhores forem o microfone e o alto-falante, melhor o som!

Por dentro e por fora do pequeno amplificador

Para usar o amplificador, conecte uma fonte de sinal, como um microfone, ao pino 3 do LM386. Certifique-se de conectar o terra da fonte de sinal ao terra comum do circuito amplificador.

Dependendo da fonte de sinal, você conseguirá um som melhor se colocar um capacitor de 0,1 μF a 10 μF entre a fonte e o pino 3 do LM386. Para pequenos valores (menos do que 0,47 μF), use um capacitor de disco; para valores maiores (1 μF ou mais), use um de tântalo. Quando utilizar um capacitor polarizado, oriente o lado positivo do componente na direção da fonte de sinal.

Este pequeno amplificador não vem com controle de volume, e a qualidade de som pode levar você de volta para o tempo em que ouvia o alto-falante da escola. Mas este simples circuito põe um bocado de som em um pacote pequeno e portátil.

Construindo um Testador de Água

Você pode não ser capaz de encontrar água subterrânea com esse circuito testador de água na Figura 15-13, mas ele ajuda a você a checar umidade em plantas ou encontrar água empoçada embaixo de carpetes.

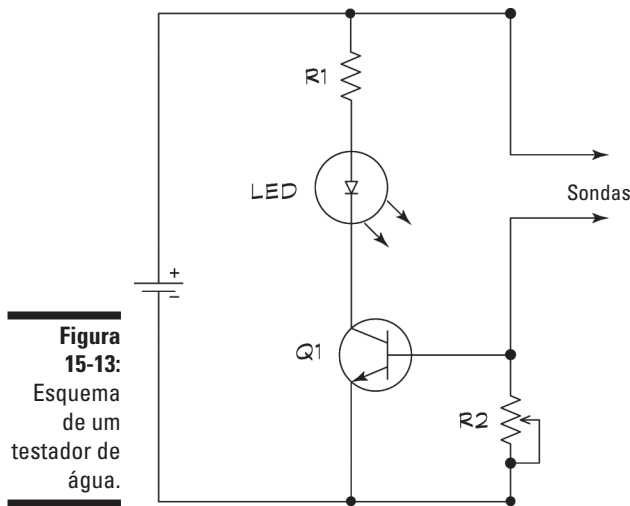



Figura 15-13: Esquema de um testador de água.

Juntando as partes do testador de água

Você precisará das seguintes partes para construir seu projeto de testador de água:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **Q1:** Transistor 2N2222 NPN
- **R1:** Resistor de 470 Ω
- **R2:** Potenciômetro de 50 kΩ
- **LED:** Diodo emissor de luz (qualquer cor)
- **Sondas:** Dois pequenos pregos (4d)

Como o testador de água funciona

O testador de água é falsamente simples. Funciona utilizando a condutividade elétrica da água (o mesmo princípio que diz que você não deve ficar na banheira com uma torradeira ligada no colo). O testador contém duas pequenas sondas de metal. Quando você coloca as sondas na água, a condutividade da água completa o circuito. O circuito completo faz passar corrente para um transistor. Quando o transistor liga, ele acende um LED. Quando as sondas não estão em contato com a água (ou com algum outro corpo condutor), seu testador tem um circuito quebrado (isto é, aberto), e o LED não acende.

Você faz as duas sondas com pregos pequenos, digamos 4d. Coloque os pregos, separados por uns 1,5 cm, em um pedaço de plástico (não use madeira nem metal). Eles devem ficar paralelos um ao outro. Afie as pontas dos pregos. Essas pontas ajudam você a colocar as sondas profundamente no material que estiver testando. Por exemplo, você pode enfiar as sondas em um carpete para determinar se água se infiltrou por baixo dele, depois que um cano na outra sala estourou.

Você pode ajustar a sensibilidade do testador mexendo no potenciômetro R2. Comece com o potenciômetro em sua posição central e gire para um lado e para o outro, dependendo da quantidade de umidade ou água no objeto que você estiver testando.

Sugerimos que use uma bateria de 9 V, mas você pode energizar o testador de água com qualquer coisa entre 5 V e 12 V.

Criando um Gerador de Efeitos Luminosos Muito Bom

Se você era fã da série de televisão *Super Máquina,* que foi ao ar lá pelos anos 80, você se lembra do painel de luz vermelha que o carro Kitt tinha na frente dele. Você pode facilmente criar o seu (painel de luz, não o carro) na garagem e em menos de uma hora, utilizando CIs baratos e um punhado de outras partes. O esquema para seu gerador de efeitos luminosos hipnotizantes é mostrado na Figura 15-14.

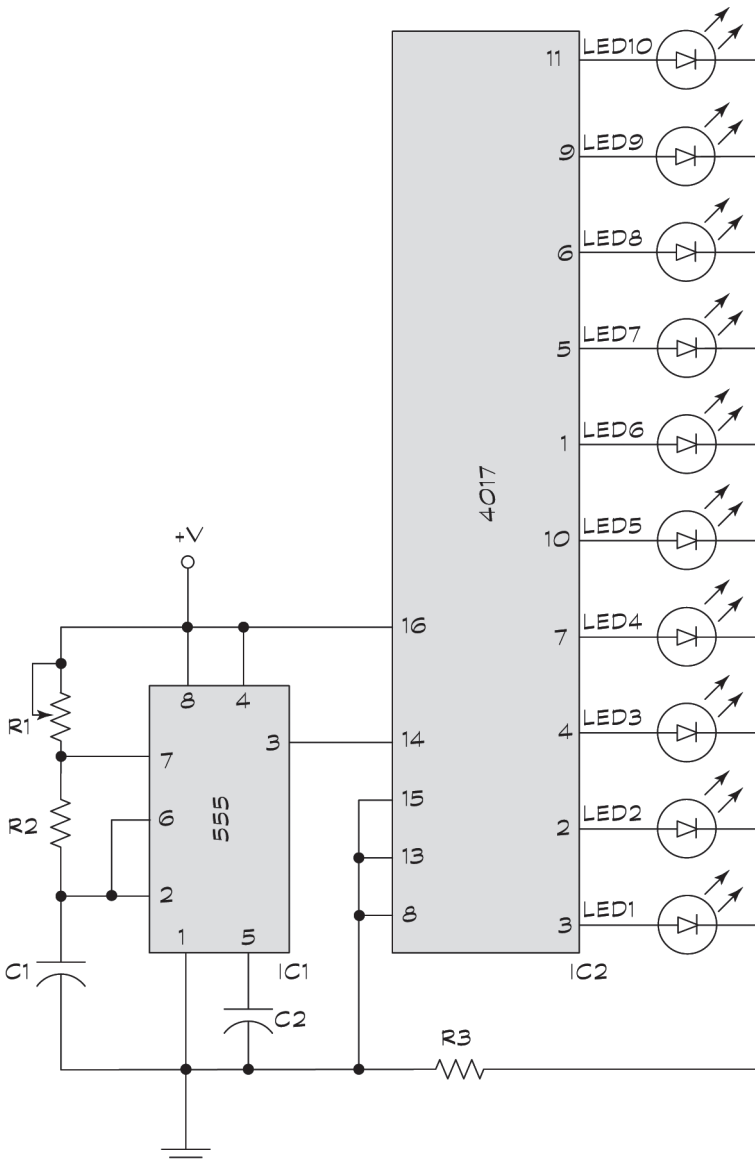



Figura 15-14: Esquema para um gerador de efeitos luminosos.

Caçando as partes para seu gerador

Você vai precisar das seguintes partes:

- **Bateria de 9 V** (com clipe de bateria opcional)
- **CI1:** CI timer LM555
- **CI2:** CI contador de década CMOS 4017
- **R1:** Potenciômetro 1 MΩ
- **R2:** Resistor 47 kΩ
- **R3:** Resistor 330 Ω
- **C1:** Capacitor de disco (não polarizado) de 0,47 μF
- **C2:** Capacitor de disco (não polarizado) de 0,1 μF
- **LED1–LED10:** Diodo emissor de luz (qualquer cor)

O contador de década 4017 e outros chips CMOS são muito sensíveis à eletricidade estática, e você pode facilmente fritar a parte se não for cuidadoso. Certifique-se de tomar precauções especiais, tal como usar uma pulseira antiestática (como descrita no Capítulo 9), antes de manipular o CI CMOS 4017.

Controlando as luzes

O circuito na Figura 15-14 tem duas seções:

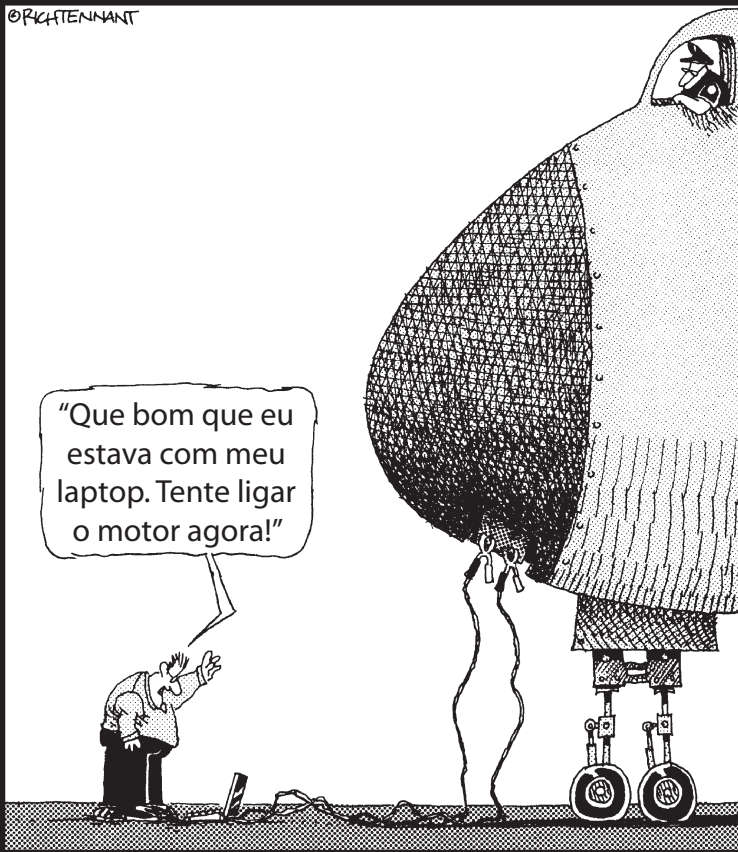
- **O cérebro:** O CI timer 555 é o responsável pela primeira seção, na esquerda do esquema. Você prepara a fiação desse chip para que ele aja como um multivibrador astável. Na verdade, você faz o mesmo circuito básico como o piscador de LED, descrito na seção “Criando luzes bacanas, loucas e piscantes” anteriormente neste capítulo. O 555 produz uma série de pulsos; você determina a velocidade dos pulsos ajustando o potenciômetro R1.
- **O corpo:** A segunda seção, no lado direito do esquema, contém um chip CMOS contador de década 4017. O chip 4017 liga cada um dos 10 LEDs sucessivamente. Os LEDs são ligados quando o 4017 recebe um pulso do 555. Você conecta o 4017 de forma que repita a sequência de 1 até 10, repetidas vezes, enquanto o circuito tiver energia.

Posicionando os LEDs

Você pode construir o gerador de efeitos luminosos em uma *protoboard* sem solda, apenas para testar. Se você planeja transformá-lo em um circuito permanente, pense um pouco no arranjo dos LEDs. Por exemplo, para conseguir diferentes efeitos luminosos, você pode tentar o seguinte:

- **Pôr todos os LEDs em linha, numa sequência:** As luzes se acendem uma atrás da outra, para cima (ou para baixo), várias vezes.
- **Pôr todos os LEDs em linha, mas alternar a sequência esquerda e direita:** Coloque os LEDs de forma que a sequência comece nas pontas e vá para o meio.
- **Pôr os LEDs em círculo de forma que os LEDs façam a sequência em sentido horário ou anti-horário:** Esse padrão de luz se parece com uma roda de roleta.
- **Arranjar os LEDs em forma de coração:** Você pode usar esse arranjo para criar um exclusivo presente para o Dia dos Namorados.

Parte IV

A Parte dos Dez

Nesta parte...

Este livro não seria um legítimo livro da série Para leigos® sem um punhado de listas do tipo top 10. Apesar desta coleção ser muito distante de outras listas top 10, possivelmente mais interessantes, estas aqui contêm pequenas dicas úteis, que pelo menos poderão ser uma leitura informativa, enquanto você espera pelo chamado do dentista para fazer seu tratamento de canal. Você não gostaria que elas fossem uma lista top 20 para que você pudesse ter uma desculpa para atrasar o uso da maquininha?

Nesta parte, nós oferecemos dicas quentes para lhe ajudar a estimular seu hábito com a eletrônica, e descrevemos 10 (na verdade 13) ótimas fontes para partes, ferramentas e outros suprimentos para eletrônica.

Capítulo 16

Dez (Mais ou Menos Isso) Ótimas Dicas para Ajudar Você a Ter Sucesso

Neste Capítulo:

- Acelerando sua experiência com eletrônica com um *kit* de projeto
- Energizando seus aparelhos com uma fonte de alimentação variável
- Verificando a frequência de um sinal
- Gerando formas de onda com um gerador de função
- Varrendo sinais com um gerador de varredura
- Utilizando um pulsador lógico para injetar sinais de teste em circuitos
- Verificando entradas e saídas com um analisador lógico
- Simulando circuitos em seu computador
- Fechando ótimos negócios em ferramentas de teste

Ok, então você está pronto para pegar sério na eletrônica, e agora está pensando o que mais há por aí (além do equipamento básico de teste) que pode lhe ajudar a melhorar suas habilidades e a ter algum *insight* sobre o que está acontecendo, dentro de todos aqueles fios e componentes. Além disso, você pode estar ansioso para impressionar seus amigos e vizinhos, mostrando as coisas legais que você construiu *agora mesmo* (não na próxima semana ou próximo mês) e se armar de com algumas ferramentas impressionantes que vêm com muitas luzes indicadoras, botões de ajuste e *displays* brilhantes. Se isso tudo está ressoando em você, então você está pronto para explorar alguns dos *kits* de ferramentas, equipamentos de teste especializados – e mesmo o *software* útil – que descreveremos neste capítulo.

Absolutamente você e positivamente não *precisa* dessas ferramentas extras apenas para brincar um pouco com alguns resistores e LEDs. Um multímetro básico, e talvez uma sonda lógica, são tudo que você precisa para isso. Mas você pode considerar os *kits* de projeto descritos aqui se quiser avançar sua experiência com circuitos – e examinar o equipamento de teste adicional (listado mais tarde) depois que tiver ganhado experiência e quiser graduar para projetos maiores e melhores.

Testando Suas Mãos em Kits de Eletrônica Pré-Prontos

Se você quer fazer algumas coisas realmente legais acontecerem em eletrônica, mas não quiser começar do zero (ao menos não agora), você pode comprar um dos muitos *kits* de eletrônica para *hobby* disponíveis de uma variedade de fontes. Esses *kits* incluem tudo que você precisa para construir um circuito funcional: todos os componentes eletrônicos, fios, placas de circuito e instruções detalhadas sobre como colocar tudo isso junto. Alguns até incluem uma explicação sobre como o circuito funciona.

Você vai encontrar *kits* para alarmes fotossensíveis, sinal de trânsito simulado, fechaduras de combinação eletrônica, temporizadores ajustáveis, *display* de luzes decorativas e muito mais. Muitas das fontes de material mencionadas no Capítulo 17 fornecem *kits* pré-prontos a preços razoáveis. Você pode praticar suas habilidades de construção de circuitos e análise utilizando esses *kits*, e então passar para projetos, construir e testar seus próprios circuitos desde o início.

Usando uma Fonte de Energia com Personalidade Variável

Você pode utilizar uma *fonte de energia variável* em vez de baterias para alimentar os circuitos que constrói e testa na sua bancada. Uma fonte de alimentação produz uma voltagem DC bem regulada (isto é, muito, muito, *muito* estável); a maioria dos modelos oferece saídas de voltagem variando de 0 V a 20 V. O modelo na Figura 16-1 oferece uma saída variável na faixa de uns 2 V a 20 V – controláveis por um botão – assim como saídas pré-definidas de -5V, +5V e +12V.

Figura 16-1: Uma fonte de alimentação variável.

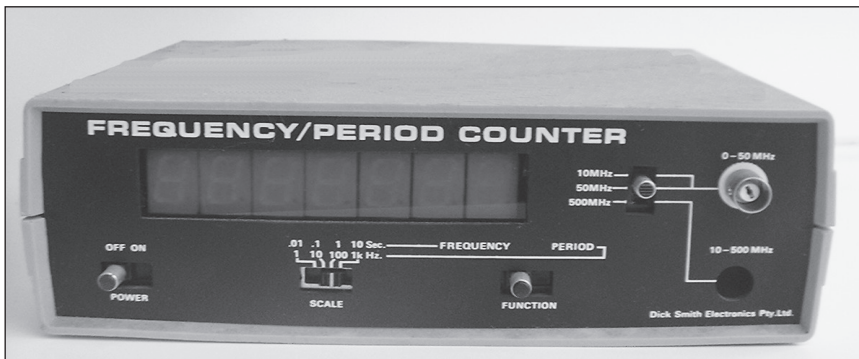
Uma fonte de alimentação é caracterizada por sua faixa de voltagem e sua capacidade de corrente. Quanto maior a capacidade de corrente, maior a carga que ela pode aguentar. Evite escolher fontes de alimentação com apenas uma modesta saída de corrente – digamos, menos do que 1 A. Você não pode adequadamente energizar todos os circuitos com baixas correntes. Em vez disso, considere uma fonte de alimentação que forneça um mínimo de 2 A a 5 V e pelo menos 1 A em qualquer outra voltagem.

Contando os Megahertz

Você pode usar um *contador de frequência* (ou medidor de frequências) para ajudá-lo a determinar se seu circuito AC está operando apropriadamente. Tocando os terminais desse dispositivo de teste em um ponto de sinal do circuito, você pode medir a frequência do sinal. Por exemplo, suponha que você crie um transmissor de infravermelho e a luz desse transmissor deverá pulsar a 40.000 ciclos por segundo (também conhecido como 40 kHz). Se você conectar o contador de frequência à saída do circuito, poderá verificar que o circuito está produzindo pulsos a 40 kHz – não a 32 kHz, 110 kHz ou algum outro Hz.

Você pode usar a maioria dos modelos, tal como o da Figura 16-2, em circuitos digitais, analógicos e na maioria dos de radiofrequência (RF) (tal como transmissores e receptores de rádio). Para a maioria do trabalho de *hobby*, você precisa apenas de um contador de frequência básico. Além disso, alguns dos mais novos multímetros também possuem um contador de frequência rudimentar.

Em circuitos digitais, as voltagens de sinais são limitadas a uma faixa entre zero e uns 12 V, mas em circuitos analógicos, as voltagens podem variar muito. A maioria dos contadores de frequência é projetada para trabalhar com voltagens analógicas, variando de umas poucas centenas de milivolts a 12 V ou mais. Verifique o manual que vem com seu contador de frequência para ver os detalhes específicos.

Figura 16-2: Um contador digital de frequência mede a frequência de um sinal.

Contadores de frequência exibem o sinal de frequência de 0 (zero) Hertz a um limite máximo, baseados no *design* do contador. O limite usualmente entra bastante nos megahertz; não é incomum achar um limite superior de 25 a 50 MHz. Contadores de frequência mais caros vêm com, ou oferecem um *prescaler* como uma opção – um dispositivo que estende a frequência útil de operação do contador a limites muito mais altos. Vá para o prescaler se você estiver trabalhando com computadores ou material de rádio de alta frequência.

Gerando Todos os Tipos de Sinais

Para testar a operação de um circuito, frequentemente é útil aplicar um sinal de entrada conhecido e observar como o circuito se comporta. Você pode usar um *gerador de funções* para criar formas de onda AC repetidas em uma variedade de formas e tamanhos – e aplicar a forma de onda gerada à entrada do circuito que estiver testando. A maioria dos geradores de função desenvolve três tipos de formas de onda: senoidal, triangular e quadrada. Você pode ajustar a frequência das formas de onda de uma baixa entre 0,2 Hz e 1 Hz a uma alta entre 2 MHz e 20 MHz. Alguns geradores de função vêm com um contador de frequência interno de forma que possa acuradamente temporizar as formas de onda que você gera. Você também pode usar um contador de frequência avulso para fazer a sintonia fina da saída do seu gerador de funções.

Digamos que você esteja construindo um circuito para detectar os pulsos ultrassônicos emitidos pelos morcegos, quando eles voam, ao anoitecer. A maioria das espécies de morcegos emitem sons na faixa de 20 kHz a 120 kHz (apesar de que haja espécies que emitem sinais em frequências ainda mais altas) – acima da faixa humanamente audível. Circuitos detectores de morcegos geralmente utilizam transdutores ultrassônicos para converter som dentro de uma faixa de frequências em um sinal elétrico, e processar este sinal para convertê-lo em um sinal detectável por humanos (tal como um som audível, ou emissões de luz de LED). Para realizar um teste acurado do seu circuito detector de morcegos, você coloca seu gerador de funções em uma frequência dentro da faixa que seu circuito, que é projetado para detectar e põe a amplitude bem baixa. Então, você fixa os terminais do seu gerador de sinal na entrada do circuito detector de morcegos, e certifica-se de que este está funcionando como projetado. Você pode ajustar para cima e para baixo a frequência do seu gerador de função, para verificar a operação do circuito e para certificar-se de que seu circuito não está detectando outras frequências – como aquelas produzidas pelo latido do cão do seu vizinho.

Você pode encontrar na internet muitos circuitos detectores de morcegos fáceis de construir. Apenas faça uma busca na internet pelas palavras: *bat detector circuit* ou *circuito detector de morcegos*.

Fazendo a Varredura para Cima e para Baixo nas Frequências

Quando você precisa testar o comportamento de um circuito em resposta a toda uma gama de frequências de entrada, poderá necessitar de um gerador de varredura (*sweep generator*). Um *gerador de varredura* é um tipo de gerador de função que produz um sinal com uma frequência que, continuamente, varia dentro de uma faixa ao redor de uma especificada frequência central. Geradores de varredura normalmente variam a frequência da forma de onda de saída dentro de limites pré-selecionados, tais como 100 Hz até 1 kHz ou 1 kHz até 20 kHz e permitem que você controle a taxa de varredura (o quão rápido a frequência do sinal muda). Não apenas essa varredura se parece com o E.T. telefonando para casa (conecte um alto-falante na saída de um gerador de varredura de áudio para ouvir este efeito), mas ele também ajuda você a identificar problemas relacionados com a frequência em circuitos sensíveis a ela.

Um *circuito sensível à frequência* é projetado para operar diferentemente, dependendo da frequência do sinal de entrada. Circuitos de filtro, circuitos ressoantes e circuitos transmissores/receptores de RF são exemplos de circuitos sensíveis à frequência (como é o circuito detector de morcegos descrito na seção anterior). Se você estiver construindo um circuito radiorreceptor, por exemplo, você precisa estar certo de que ele opera apropriadamente dentro de uma faixa de frequências ao aplicar um sinal de varredura à entrada do circuito, poderá observar (em uma varrida) como seu circuito se comporta em resposta a uma faixa de frequências Você achará o gerador de varredura útil na depuração de equipamento de áudio e vídeo, onde alterar a frequência de entrada pode revelar componentes com problema.

Alguns geradores de funções também possuem um gerador de varredura, cobrindo duas funções com uma ferramenta.

Botando um Pulso Aqui, Botando um Pulso Ali

Você pode usar um *pulsador lógico* (*logic pulser*) portátil para ajudar você a testar e depurar circuitos digitais. Esse aparelho em forma de caneta, mostrado na Figura 16-3, injeta um pulso digital alto ou baixo em um circuito digital (um pulso é simplesmente um sinal que alterna entre alto e baixo muito rapidamente, da maneira que a vibração das suas artérias produz seu pulso.) Muitos pulsadores lógicos permitem que você alterne entre injetar um simples pulso e injetar um trem de pulsos em uma frequência desejada.

Figura 16-3: Um pulsador lógico insere um pulso de sinal ou um trem de pulsos em um circuito.

Você normalmente utiliza um pulsador lógico em conjunto com uma sonda lógica ou um osciloscópio, para traçar o efeito no seu circuito do pulso injetado. Você pode ler sobre sondas lógicas e osciloscópios no Capítulo 13. Por exemplo, você pode injetar um pulso no pino de entrada de um circuito integrado (CI) enquanto mede ou sonda a saída do CI, para testar se o chip está operando apropriadamente. Pulsadores lógicos são úteis ao rastrear problemas em circuitos porque você pode injetar em várias porções do circuito.

A maioria dos pulsadores obtém sua energia do “circuito sob teste” (esta é a expressão comum que se refere ao circuito testado); algumas vezes múltiplas fontes de energia estão disponíveis. Mas seja cuidadoso com relação a qual fonte você usa para alimentar o pulsador lógico. Por exemplo, se você estiver testando um chip que é alimentado por 5 V, você não irá querer dar a ele um pulsador lógico alimentado por uma fonte de 12 V ou arruinará o chip. Também alguns circuitos trabalham com fonte de alimentação dividida (+, - e terra), então certifique-se de conectar os clipes de alimentação do pulsador aos pontos de alimentação corretos, para evitar danificar os componentes.

Tenha certeza de aplicar um pulso a um pino de CI projetado para saída e não para entrada. Alguns CIs são sensíveis a pulsos sem carga em seus estágios de saída, e você poderá destruir o chip, aplicando o pulso inapropriadamente. Um pulso sem carga significa que a corrente não tem caminho para drenar com segurança para outra parte do circuito. Se a corrente for aplicada a uma saída de um CI, por exemplo, esta saída *poderá* ser danificada, porque está exposta a uma corrente que não foi preparada para receber.

Analisando Sua Lógica

Para realmente ter um entendimento sobre o que está acontecendo em um circuito digital, você precisa de um analisador lógico. Um analisador lógico é como um osciloscópio turbinado (você pode ler sobre osciloscópios no Capítulo 13): ele mostra a você as formas de onda de diversas entradas e saídas de um circuito digital ao mesmo tempo. Muitas pessoas, altamente versadas nas artes ocultas da eletrônica, acham que um analisador lógico é muito mais útil do que um osciloscópio para depurar circuitos digitais.

Circuitos digitais frequentemente se fiam no sequenciamento apropriado dos sinais, através de todo o circuito. Analisadores lógicos possibilitam a você verificar um bando de sinais simultaneamente. Você pode congelar todos os sinais no tempo e observar as relações entre sinais. Então, poderá ver se um sinal está faltando ou se ele não está sincronizado com os outros, como deveria.

Você pode comprar um analisador lógico individual ou um que se conecta ao seu PC. Unidades individuais custam muito, e são bastante sofisticadas. Considere conseguir um adaptador de analisador lógico menos caro que se conecte na porta USB, serial ou paralela do seu computador.

Você precisa de um *software* especial que vem com o adaptador. A maioria dos analisadores lógicos baseados em PC manipulam de 8 a 16 entradas ao mesmo tempo.

Simulando a Operação do Circuito

Se você tiver um complicado *design* de circuito, ou apenas quiser entender mais sobre como um circuito particular vai se comportar quando for alimentado, poderá usar um *simulador de circuitos*. Esse *software* usa modelos baseados em computador de componentes de circuito para prever o comportamento de circuitos reais. Você diz a ele quais componentes e fontes de alimentação está utilizando e como eles devem ser conectados, e o *software* diz a você o que quiser saber sobre a operação do circuito: a corrente através de qualquer componente, quedas de tensão em componentes, resposta do circuito a várias frequências e por aí vai.

Muitos simuladores de circuito são baseados em um algoritmo padrão da indústria, chamado SPICE (Stimulation Program with Integrated Circuit Emphasis); você pode usá-los para simular ou analisar vários circuitos – analógicos, digitais e de *sinal misto* (isto é, incorporando tanto analógico quanto digital). Você pode encontrar simuladores de circuitos online de graça, mas deve saber que eles não são garantidos com relação à acurácia, nem vêm com algum suporte técnico. Simuladores disponíveis

comercialmente podem ser caros, mas incluem várias características assim como suporte técnico. Por exemplo, o Multisym da National Instruments inclui as seguintes características (e mais):

- Uma extensa **biblioteca de modelos** que contém modelos de *software* de centenas de partes de fabricantes específicas, de forma que sua simulação mostra a você (por exemplo) exatamente quanta capacitância parasita do Tabajara #2 afeta seu circuito sensível.
- Um ampla gama de **ferramentas de exibição de formas de onda**, incluindo versões de *software* de cada instrumento de teste, visto neste capítulo (sim, sua tela de computador pode parecer com uma tela de osciloscópio!)
- Um conjunto de **ferramentas de análise** em profundidade que ajuda você a depurar seu circuito e entender exatamente como ele irá se comportar sob várias condições, tais como situações de temperatura extrema, ou quando cada um de seus componentes se volta contra você ao variar significantemente o seu valor nominal (isto é conhecido como uma *condição do pior caso*).
- **Ferramentas de captura de circuito** que permitem que você controle onde colocar os símbolos dos componentes escolhidos para o circuito, em uma grade exibida em seu computador, como conectar os componentes etc., de forma a construir um diagrama de circuito.

Você pode fazer o download de uma versão de avaliação por 30 dias do Multisym e testá-lo por si mesmo, visitando `www.ni.com/multisim/`.

Onde Achar Bons Negócios em Ferramentas de Teste

Não estamos mentindo para você – equipamentos de teste em eletrônica podem custar um bocado de dinheiro. Muito do que você paga é pela acurácia do dispositivo. Fabricantes se esmeram por maior eficiência de forma que eles possam vender seus produtos no mercado ou atender a regulamentos governamentais necessários. Se você é um hobbista em eletrônica trabalhando em casa, não precisará realmente de toda essa precisão extra. Usualmente você consegue trabalhar, utilizando modelos menos precisos – e menos caros. O mais básico de uma família de produtos de teste é provavelmente bom o bastante para a maioria das aplicações de *hobby* e (assumindo que você tome bastante cuidado com ele) deverá durar muitos anos.

Você também não precisa comprar tudo novo. Itens usados e de excesso podem economizar uma tonelada de dinheiro em equipamentos de teste para eletrônica, mas aqui tem um porém (sempre tem): a maioria dessas coisas não vem com manual de instruções. Algumas vezes você pode comprar o manual separadamente ou encontrá-lo online. Proprietários de equipamentos de teste populares, frequentemente escaneiam as páginas dos seus velhos manuais de equipamentos e os colocam online para o benefício de outros.

Verifique estas fontes para equipamentos usados:

- **eBay e outros sites de leilão online**: Antes de dar um lance, verifique cuidadosamente o que foi posto sobre a condição do equipamento e a política de devolução caso o equipamento não funcione como prometido. Então verifique outros leilões, incluindo aqueles que já acabaram, para ver qual o preço final para produtos similares. Coloque seu lance de acordo, e use um *proxy bidding* para que você não precise ficar grudado no seu computador para ficar em cima do lance. E seria sábio verificar as opiniões sobre o vendedor e ter uma ideia de sua integridade, para saber com quem está lidando.
- **Lojas locais de usados, excessos ou por correio**: Essas lojas são outra boa fonte de equipamentos usados e são úteis se você não quiser esperar o fim de um leilão ou preferir saber do preço diretamente.

Quer você use um leilão, uma ordem por correio ou uma loja local, certifique-se de testar se o equipamento que comprou realmente funciona. Tenha a garantia do vendedor de que o equipamento está em funcionamento dando a você uma garantia. Você poderá pagar um pouco mais por isso, mas se não se certificar de que ele funciona, e você não for muito bom em consertar equipamento quebrado, poderá acabar comprando um peso de papel caro. Se você é novato em eletrônica, peça a um amigo experiente ou colega para verificar o equipamento para você.

Ignore vendedores, especialmente no eBay e outros sites de leilão, que não estiverem querendo garantir que seu produto esteja em perfeita condição de funcionamento. Muitos vendedores tomam um tempo para verificar seus materiais e garantir que o item não vá estar morto, ao chegar.

Capítulo 17

Dez (Mais ou Menos Isso) Ótimas Fontes de Peças para Eletrônica

Neste Capítulo:

- Fontes de parte ao redor do mundo
- Evitando substâncias perigosas
- Entendendo os prós e contras de partes excedentes

Procurando algumas ótimas fontes de partes eletrônicas? Este capítulo dá a você alguns dos favoritos perenes, tanto dentro quanto fora da América do Norte. Esta lista não é exaustiva; você pode encontrar literalmente milhares de lojas especializadas em coisas novas e usadas para eletrônica. Mas as fontes que nós listamos aqui estão entre as mais estabelecidas no campo, e todas possuem páginas web para pedidos on-line. Algumas até oferecem catálogos impressos.

Brasil

Algumas lojas online no Brasil possuem ótimos produtos e peças para eletrônica em geral. A maioria desses produtos podem ser adquiridos nos *sites* listados a seguir com segurança e facilidade. Apenas uma empresa fornece materiais em sua loja física, sem possibilidades de compras on-line.Muitos sites, além das grandes marcas disponíveis, possuem tutoriais e artigos para tirar dúvidas dos compradores.

Milcomp

```
www.milcomp.com.br
```

Esta loja de produtos para eletrônica oferece desde pequenos resistores a ferramentas e multímetros. Pode-se encontrar as melhores marcas disponíveis no mercado com uma grande variedade de produtos. O *site* também possui um *link* com matérias sobre eletrônica.

Soldafria

www.soldafria.com.br

Criado por um ténico e engenheiro eletrônico com mais de treze anos de experiência, a Soldafria comercializa produtos de eletrônica e peças para todo o Brasil de forma simples e descomplicada. No *site*, além dos produtos, pode-se encontrar tabelas de equivalência, certificado digital, tabela de fios, tutoriais e muito mais.

TMG

www.tmgeletronica.com.br

A TMG é uma loja que comercializa uma grande variedade de produtos eletrônicos, seja para manutenção ou produção, e trabalha com chicotes e cabos especiais. Além disso, a TGM oferece suporte técnico para o desenvolvimento de produtos como placas de circuito.

SimãoEletrônica

www.eletronicasimao.com.br

Há mais de 50 anos a Eletrônica Simão atua no mercado de comercialização de peças para eletrônica em geral. No *site*, não é possível a compra on-line, porém, pode-se conferir o catálogo da loja, bem como telefones e endereços. Ainda é possível fazer um orçamento de qualquer produto.

Blucolor

www.blucolor.com.br

A Blucolor é uma loja que comercializa uma gama de produtos para eletrônica em geral. Nela você encontra acessórios para informática, automotivo, mídias, telefonia e muito mais. Um setor para kits de Desenvolvimento e Didática também pode ser pesquisado.

América do Norte

Verifique esses recursos online se estiver comprando de dentro dos Estados Unidos ou Canadá. A maioria desses vendedores envia para o resto do mundo. Então, se você vive em um país diferente, ainda pode considerar a compra nessas lojas. Apenas lembre-se de que os custos de envio podem ser altos, e você pode ter que pagar uma taxa de importação, dependendo das regras do seu país.

All Electronics

```
www.allelectronics.com
```

All Electronics possui uma loja física na área de Los Angeles e atende pedidos no mundo todo. Grande parte de seu estoque é de *excedentes novos*, significando que a mercadoria é nova, mas foi comprada em excesso pela companhia. A All Electronics possui um catálogo impresso, que também está disponível em formato PDF no *site*. O estoque muda frequentemente, e as atualizações mais recentes estão disponíveis apenas no *site*. Certifique-se de verificar os itens que aparecem apenas online.

Allied Electronics

```
www.alliedelc.com
```

Allied Electronics é o que é conhecido como *distribuidor de estoque*. Eles oferecem material de uma grande variedade de fabricantes, e a maioria das partes está disponível para envio imediato. Você também pode fazer seu pedido no armazém da Allied em Fort Worth, Texas. A Allied é direcionada para o profissional em eletrônica, mas ela recebe os hobbistas, também. O catálogo da Allied é *imenso*, e está disponível no *site* assim como em forma impressa. Você pode também encontrar partes, utilizando a seção de busca no *site* da Allied.

BG Micro

```
www.bgmicro.com
```

Vendendo principalmente excedentes, a BG Micro possui ótimos preços e atendimento ao consumidor. Você pode comprar de seu catalogo impresso ou on-line. Verifique o *site* para ver as ofertas mais recentes. O estoque tende a ir e vir muito rápido, então se você tiver visto algo do qual tenha gostado muito, compre na hora! Ou então, algum outro cientista maligno, com olho de águia poderá comprar antes.

Digi-Key

```
www.digikey.com
```

Se você precisa, a Digi-Key provavelmente tem. Assim como a Allied Electronics, a Digi-Key é uma distribuidora de estoque, possuindo milhares e milhares de itens. O sistema de compras online inclui informação detalhada do produto, preço, quantidade em estoque e mesmo *links* para as folhas de dados do produto. O *site* oferece uma ferramenta de busca útil para que você possa rapidamente localizar o que está querendo, assim como um catálogo on-line interativo (com possibilidade de *zoom* que você vai precisar). A Digi-Key vai também enviar um catálogo impresso gratuito, mas para ler as letrinhas miúdas você vai ter que pegar seus óculos. O texto teve que ser reduzido para poder caber tudo.

Electronic Goldmine

www.goldmine-elec.com

A Electronic Goldmine vende partes novas e excedentes, do resistor mais barato a exóticos *lasers*. O site é organizado por categorias, o que faz com que comprar seja fácil. Uma categoria rotulada "Rare and Esoteric" deve ter sido onde o Doc Brown conseguiu o capacitor de fluxo, que fez a viagem no tempo ser possível em *De Volta para o Futuro*. A listagem para a maioria das partes inclui uma foto colorida e uma pequena descrição. Lembre-se de dar uma olhada na ótima seleção de *kits* de projeto.

Jameco Electronics

www.jameco.com

A Jameco vende componentes, *kits*, ferramentas e mais, oferecendo pedidos tanto on-line quanto por catálogo. Você pode navegar no *site* por categoria, ou se souber o número da parte na qual está interessado – como um transistor 2N2222 – poderá encontrá-la inserindo o número da parte na caixa de busca. Você também poderá usar a busca por categorias de partes, tais como motores, baterias ou capacitores. Apenas digite o termo da categoria, aperte *enter* e, lá vai você.

Mouser Electronics

www.mouser.com

Similar a Allied e a Digi-Key, a Mouser é uma distribuidora de estoque com dezenas de milhares de partes na mão. Se você não conseguir encontrar na Mouser, é porque provavelmente não existe. A Mouser possui, só em resistores, mais de 165.000, listados na categoria "Passive Components". Você pode fazer o pedido em sua loja online ou através de seu monstruoso catálogo impresso. Sinta-se à vontade para pedir um catálogo impresso para manter por perto, ou deixe seu *mouse* fazer o passeio pelo catálogo online da Mouser.

Parts Express

www.parts-express.com

A Parts Express é especializada em partes eletrônicas e outros equipamentos para os aficionados por áudio/visual. Você vai encontrará uma ampla seleção de componentes individuais, completos, com opiniões de usuários, assim como *kits* de projeto e outras fontes "faça você mesmo" no site da Parts Express. Olhe o mostruário de projetos, a abrangente lista de fórmulas (incluindo a Lei de Ohm), e o glossário técnico e, não se esqueça de revisar a informação sobre segurança em eletrônica. Você também encontra a Parts Express no eBay, Facebook e Twitter!

RadioShack

```
www.radioshack.com
```

RadioShack é talvez a mais reconhecida no mundo de origem para a eletrônica *hobby*. Você pode encontrar uma loja RadioShack em seu *shopping* favorito, assim você pode comprar resistores, capacitores, roupa interior, sapatos e tudo na mesma viagem. RadioShack também tem muitos navios de ofertas de produtos na sua extensa linha por mala direta, e algumas das coisas mais esotéricas, como o menos comum circuito integrado ou sonda lógica, está disponível apenas online.

Fora da América do Norte

A eletrônica é popular em todo o mundo! Aqui estão alguns sites que você pode visitar se vive em países como Austrália ou Inglaterra. Assim como os vendedores on-line na América do Norte, a maioria desses também envia para outros países. Verifique a página de pedidos de cada um.

Dick Smith Electronics (Austrália)

```
www.dse.com.au
```

A Dick Smith Electronics oferece convenientes pedidos por correio (a companhia envia para outros países) e possui mais de 200 lojas na Austrália e Nova Zelândia.

Farnell (Inglaterra)

```
www.farnell.com
```

Com endereço na Inglaterra, mas dando suporte a compradores pelo mundo afora, a Farnell possui um estoque de mais de 250.000 produtos. Poderá fazer pedidos através do site.

Maplin (Inglaterra)

```
www.maplin.co.uk
```

A Maplin fornece a conveniência de pedidos online para compradores no Reino Unido, Europa Ocidental e outros locais internacionais. A companhia também suporta dúzias de lojas físicas por todo o Reino Unido.

O Que É Conformidade RoHS?

Quando você estiver comprando as partes, poderá encontrar o termo "RoHS Compliant" – Em conformidade com RoHS – próximo a algumas partes. O termo *RoHS* refere-se à diretiva Restriction of Hazardous Substances (Restrição de Substâncias Prejudiciais), adotada em 2003 pela União Europeia (U.E.). A diretiva RoHS, que foi efetivada em 2006,

restringe a colocação no mercado da União Europeia (U.E). de novos equipamentos elétricos e eletrônicos que contenham mais do que um nível especificado de chumbo e cinco outras substâncias perigosas. Companhias que produzem eletrônicos industriais ou consumidores que devem se preocupar sobre a conformidade com a RoHS se quiserem vender seus produtos em países da U.E. (e na China, que possui sua própria especificação RoHS), mas se você apenas estiver mexendo em eletrônica na sua casa, não precisará se preocupar sobre utilizar solda sem chumbo e outras partes em conformidade com a RoHS. Só não deixe seu gato mascar a solda.

Novo ou Excedente?

Excedente é uma palavra carregada. Para alguns, ela significa lixo que entope a garagem, como barracas de acampamento velhas. Para quem mexe em eletrônica, excedente tem um significado totalmente diferente: componentes com preço razoável que ajudam a esticar seu dinheiro na hora de brincar com eletrônica.

Excedente apenas significa que o fabricante original ou comprador não precisa mais daquilo. É simplesmente excesso de estoque para revenda. No caso de eletrônicos, excedente raramente significa usado, como poderia significar para outros tipos de componentes excedentes, tais como motores ou dispositivos mecânicos que foram recondicionados. Exceto por componentes difíceis de achar – como equipamentos antigos de radioamador – eletrônicos excedentes são tipicamente novinhos e alguém ainda fabrica esses equipamentos. Nesse caso, excedente significa simplesmente extra.

O maior benefício de comprar nos vendedores de excedentes é o custo: Mesmo componentes novos possuem o preço menor do que o de vendedores comuns. O lado ruim é que você pode ter a seleção limitada – quaisquer componentes que a loja foi capaz de comprar. Não espere todos os valores e tamanhos de resistor ou capacitor, por exemplo.

Lembre-se de que quando você compra excedente, não terá a garantia do fabricante. Algumas vezes é porque o fabricante não está mais no negócio. Apesar da maioria dos vendedores de excedentes aceitar retorno, se o item estiver com defeito (a menos que digam algo diferente em seus catálogos), você deve sempre considerar equipamento de excedente "como ele estiver", sem garantia suposta ou implicada (e todo aquele resto de conversa de advogado).

Apêndice
Recursos na Internet

Aqui é onde você consegue um bando de fontes interessantes da internet para todas as coisas relacionadas com a eletrônica. Alguns são comerciais; alguns são de indivíduos. Esta lista apresenta o que nós consideramos os mais úteis recursos online; a ideia é poupar seu tempo e sua paciência.

Esteja ciente de que sites podem ir e vir ao longo do tempo. Se você tentar visitar um *site* e seu navegador não puder encontrá-lo, o dono do *site* provavelmente o moveu. Assim é a vida na internet! Tente as ferramentas de busca, como Google e Yahoo!, para encontrar fontes adicionais.

Ganhando Velocidade com Tutoriais e Informações Gerais

Todos os *sites* nesta seção têm informações valiosas. Navegue neles para decidir quais *sites* atendem melhor às suas necessidades. O The Kelsey Park School Electronics Club e o Noth Carolina State University Electronics Tutorial têm as melhores notas, mas todos os outros *sites* também possuem informações úteis e interessantes:

- **Eletrônica.org** (`www2.eletronica.org`): Neste *site* você encontra uma série de apostilas, tutoriais, artigos, cursos gratuitos, projetos, fóruns e muito mais sobre eletrônica.
- **Saber Eletrônica Online** (`www.sabereletronica.com.br`): *Site* da revista Saber Eletrônica. Possui excelente material para quem deseja saber mais sobre eletrônica. O *site* disponibiliza arquivos para *download*, projetos, entrevistas, matérias, reportagens, seção de empregos, produtos e muito mais.
- **Ibytes** (`www.ibytes.com.br`): Este *site* apresenta uma variedade de tutoriais sobre eletrônica, como teste de capacitores, dicionário e eletrônica e muito mais. Além de eletrônica, pode-se encontrar projetos, assuntos sobre informática e dicas gerais.
- **Eletrônica24h** (`www.eletronica24h.com.br`): *Site* desenvolvido por um professor da Faetec. Possui materiais voltados para experimentações, sugestão de livros, solução de exercícios e mais.

- **Eletrohoo** (`www.eletrohoo.com.br/`): O *site* apresenta uma variedade de artigos, matérias, dicas e calculadoras on-line. Uma boa ajuda para quem necessita aprender mais.
- **All About Circuits** (`www.allaboutcircuits.com/`): Este site contém uma série de livros on-line sobre eletrônica. Eles ainda não colocaram algumas seções, mas o material já postado é bem-feito.
- **Electronics Hobbyst** (`http://amasci.com/amateur/elehob.html`): Aqui você pode encontrar artigos sobre vários tópicos básicos de eletrônica.
- **Graham Knott's Web Site** (`http://ourworld.compuserve.com/homepages/g_knott/index.html`): Divirta-se explorando este site que Graham Knott, um professor de eletrônica da Universidade de Cambridge na Inglaterra, organizou, para simplificar, a descoberta de informações tanto em tópicos básicos quanto intermediários sobre eletrônica.
- **Kelsey Park School Electronics Club** (`www.kpsec.freeuk.com`): Este *site* tem um monte de bons conselhos para iniciantes em projetos de eletrônica, incluindo um tutorial sobre como ler um diagrama de circuito, explicações sobre os componentes e uma lista de símbolos de circuitos utilizados no Reino Unido.
- **The North Carolina State University Electronics Tutorial** (`www.courses.ncsu.edu:8020/ece480/common/htdocs`): Contém boas explicações sobre vários tópicos de eletrônica. Muitas das ilustrações são animadas, o que faz com que o entendimento do conceito seja mais fácil.
- **Online Guide for Beginners in Electronics** (`http://library.thinkquest.org/16497/home/index.html`): Leia aqui breves introduções sobre muitos tópicos em eletrônica.
- **Williamson Labs Electronics Tutorial** (`www.williamson-labs.com/home.htm`): Este *site* tem algumas explicações sobre conceitos básicos de eletrônica, acompanhadas de boas ilustrações que podem divertir você.

Entendendo as Coisas com Calculadoras

Você pode realizar cálculos nos *sites* desta seção sem ter que procurar a equação ou pegar uma calculadora. Escolha o que cubra a equação em particular que você quer usar:

- **Calculatoredge** (`www.calculatoredge.com`): Este site possui calculadores para a Lei de Ohm, bem como diversos outros calculadores para as mais variadas áreas.
- **Eletrohoo** (`www.eletrohoo.com.br/site/`):Este site apresenta diversas calculadoras online. Calcule o valor do Resistor em série com o LED, o valor da capacitância, frequência ou indutância em um circuito de transmissão e os códigos das cores dos resistores.

- **Electronics Converters and Calculators** (`www.csgnetwork.com/electronicsconverters.html`): Este *site* possui calculadores que fazem os cálculos da Lei de Ohm, de resistências em paralelo e de conversões do código de cor dos resistores entre outras úteis operações.
- **The Electronics Calculator Web Site** (`www.cvs1.uklinux.net/calculators/index.html`): Utilizando as ferramentas que você encontra neste *site*, você pode realizar cálculos para a Lei de Ohm, constantes de tempo RC e algumas outras equações úteis.
- **Bowden's Hobby Circuits** (`www.bowdenshobbycircuits.info/`): As calculadoras deste *site* incluem os cálculos padrão para a Lei de Ohm, constante de tempo RC e conversões dos códigos de cores dos resistores. Você também pode encontrar calculadoras para funções que você não encontra na maioria dos outros *sites*, tal como uma calculadora para divisor de tensão.

Surfando Atrás de Circuitos

Faminto por mais circuitos para construir? Eles estão apenas à distância de um clique! Graças à mágica da internet, você pode encontrar centenas – ou melhor, milhares – de circuitos eletrônicos, de demonstradores básicos de luz e som até projetos avançados para seu carro ou barco. Aqui estão alguns dos melhores sites:

- **Esquemas.org** (`www.esquemas.org`): *Site* que contém diversos esquemas de projetos para a prática da eletrônica. Além disso, possui tabelas e assuntos para iniciantes.
- **Eletrônica.org** (`www2.eletronica.org`): O *site* apresenta diversos projetos de circuitos para *download*. É entrar e usar.
- **MSR Home Page** (`www.mrshp.hpg.ig.com.br/ele/esq.htm`): Esta página hospeda alguns exemplos de circuitos e esquemas variados.
- **Bowden's Hobby Circuits** (`www.bowdenshobbycircuits.info/`): O site pessoal do hobbista Bill Bowden enfatiza o porquê, não apenas o como. Aqui você encontra tanto descrições de circuitos quanto sugestões de *design* alternativos.
- **Discover Circuits** (`www.discovercircuits.com`): Este *site* patrocinado por anúncios apresenta mais de 28.000 esquemas agrupados em mais de 500 categorias. Clique no link Schematics para ver a lista categorizada. Você também pode encontrar circuitos direcionados para hobbistas clicando no link Hobby Corner.
- **Kelsey Park School Electronics Club** (`www.kpsec.freeuk.com/proj.htm`): Você vai encontrar alguns projetos divertidos para iniciantes neste site. Para cada projeto, você verá uma explicação de como ele funciona e um *layout* de circuito, além do esquema.

Discutindo Sobre Eletrônica nos Fóruns Virtuais

Use os fóruns nos sites desta seção para conseguir respostas para as suas perguntas sobre projetos ou eletrônica em geral. Cada área de discussão tem seu próprio estilo, então gaste algum tempo em cada *site* para decidir qual fórum é melhor para você. Poste suas questões e outros que já passaram pelas suas agruras poderão fornecer a resposta que você precisa.

Achamos os grupos de discussão nos seguintes *sites* especialmente interessantes e úteis:

- **Fórum Tectonny** (`http://www.tectonny.com/`): Fórum de eletrônica com mais de dezoito mil membros. É necessário se cadastrar para usá-lo.
- **Clube do Hardware** (`http://forum.clubedohardware.com.br/eletronica/f39`): Fórum com diversos debates sobre eletrônica. Pode ser encontrado tutoriais, *sites*, projetos e outras listas de discussão.
- **Eletrônica Atualizada** (`http://eletronicatualizada.forumpratodos.com/`): O fórum apresenta discussão técnica, esquemas, manuais, dados técnicos e conteúdo relacionado com a eletrônica.
- **All About Circuits Forum** (`http://forum.allaboutcircuits.com`): Aqui, você encontra tanto um fórum de discussões sobre eletrônica em geral quanto um fórum para você perguntar aos outros membros sobre algum projeto.
- **Electronics Zone Discussion** (`www.electronics-circuits-diagrams.com/forum/`): Este *site* tem discussões muito ativas sobre circuitos e projetos de eletrônica.
- **EDAboard International Electronics Forum Center** (`www.daboard.com`): Explore discussões ativas sobre problemas com projetos e eletrônica em geral, junto com diversos fóruns mais especializados como um do projeto de PCB.
- **Electronics Lab** (`www.electronics-lab.com/forum/index.php`): Aqui está outro bom *site* com discussões sobre projetos, circuitos e eletrônica em geral. Verifique a seção Project Q/A; ali, leitores podem colocar questões – e obter respostas – sobre os muitos projetos fornecidos na área Projects do *site*.

Certifique-se de tomar cuidado com as respostas que você obtiver nos fóruns. Pense bem no conselho que foi dado antes de você construir um projeto baseado somente na palavra bem-intencionada de um estranho.

Comprando Coisas para Fazer Suas Próprias Placas de Circuito Integrado

Se você estiver a fim de construir suas próprias placas de circuito impresso (também conhecidas como PCBs – veja o Capítulo 11 para mais detalhes), verifique estes Web sites (em inglês) em busca de ferramentas, produtos químicos e suprimentos. Muitos dos *sites* desta seção vendem mais ou menos os mesmos produtos, então nós apenas listamos as páginas web sem maiores descrições:

- **Circuit Specialists:** `www.web-tronics.com`
- **D&L Products:** `www.dalpro.net`
- **Ocean State Electronics:** `www.oselectronics.com`
- **Minute Man Electronics:** `www.minute-man.com`
- **Philmore-Datak:** `www.philmore-datak.com`
- **Press-n-Peel** (filme para transfer)**:** `www.techniks.com`
- **Pulsar Professional fx** (filme para transfer DecalPRO)**:** `www.pulsarprofx.com`

Além dessas fontes, muitos revendedores de eletrônica oferecem, também, uma seleção de suprimentos para construção de PCB.

Conseguindo Coisas em Excedentes

Procurando alguns bons negócios? Tente comprar excedentes. Como mercadorias de excedentes vêm e vão, você deve ser rápido para conseguir os bons produtos – mas se tiver sorte poderá encontrar ótimas barganhas. Tente estes negociantes on-line de excedentes de eletrônica (em inglês):

- **Action Electronics** (`www.actionelectronics.com`): Este site vende tanto itens novos (direto do fabricante) quanto excedentes.
- **Alltronics** (`www.alltronics.com`): O inventário neste site é tão enorme que você pode levar horas para vê-lo todo. Tem tudo: de motores usados a minúsculas partes eletrônicas.
- **American Science & Surplus** (`www.sciplus.com`): Um revendedor confiável de tudo em matéria de excedente. Eles estocam algumas partes pequenas, mas vá aqui para achar motores, interruptores e coisas grandes.
- **Fair Radio Sales** (`www.fairradio.com`): Este fornecedor está na praça há uns 50 anos. A companhia é especializada em excedentes militares e radioamador, mas eles também têm muitas partes e pedaços pequenos para ajudar você a encher seu armário.

- **Gateway Electronics** (www.gatewayelex.com): Este site vende alguns *kits* e partes na internet. Também tem uma loja física em St. Louis, Missouri.
- **Marlin P Jones & Associates** (www.mpja.com): Este site vende eletrônicos novos e excedentes, ferramentas de testes e outras coisas.
- **Skycraft Parts & Surplus** (www.skycraftsurplus): Você pode encontrar um armazém cheio de excedentes mecânicos e de eletrônica, mais *kits*, ferramentas de teste e muito mais neste site.

Além dessas fontes, certifique-se de verificar a lista dos top 10 vendedores de eletrônica on-line no Capítulo 17.

Glossário

Assim como em qualquer novo campo de estudo, a eletrônica tem seu próprio jargão. Alguns termos lidam com eletricidade e unidades de medida, como voltagem. Outros termos são rótulos para ferramentas que você usa em projetos ou partes eletrônicas, tais como transistores. Aqui estão muitos termos que você encontrará durante sua vida na eletrônica. Conhecer esses termos vai ajudar você e se tornar fluente em eletrônica.

ampere: Unidade padrão de corrente elétrica. Um ampere é a força de uma corrente elétrica quando 6,24 x 1018 partículas eletricamente carregadas passam pelo mesmo ponto em um segundo. Veja também corrente, I.

amplitude: A magnitude de um sinal elétrico, tal como voltagem ou corrente

ânodo: Terminal de um dispositivo no qual a corrente convencional (carga hipoteticamente positiva) flui. Em dispositivos consumidores de potência, tais como diodos, o ânodo é o terminal positivo. Em dispositivos fornecedores de potência, tais como baterias, o ânodo é o terminal negativo. Veja também cátodo.

autoajuste: Uma característica de alguns multímetros que automaticamente conFiguram a faixa de teste.

AWG (American Wire Gauge): Veja gauge do fio.

amplificador operacional: Abreviado como amp op; é um circuito integrado contendo diversos transistores e outros componentes. Funciona melhor do que um amplificador feito de um único transistor. Por exemplo, um amp op fornece amplificação uniforme em uma faixa maior de frequências do que pode um amplificador de um único transistor.

bateria alcalina: Tipo de bateria não recarregável. Veja também bateria.

bateria: Fonte de potência que utiliza reações eletroquímicas para produzir uma voltagem positiva em um terminal e uma voltagem negativa no outro. Este processo envolve colocar dois tipos diferentes de metal em um certo tipo de produto químico. Veja também ***bateria alcalina, bateria***

de lítio, bateria de níquel cádmio, bateria de hidrato níquel metálico, bateria de zinco carbono.

bus: Ponto de conexão em comum.

bomba dessoldadora: Veja sugador de solda

bateria de lítio: Tipo de bateria com voltagem mais alta uns 3 volts do que os outros tipos. Uma bateria de lítio tem maior capacidade do que uma bateria alcalina. Veja também ***bateria.***

bateria de níquel cádmio (NiCd): O mais popular tipo de bateria recarregável. Algumas baterias de NiCad exibem o "efeito de memória", requerendo estejam completamente descarregadas antes de poderem ser recarregadas até sua plena capacidade. Veja também ***bateria.***

bateria de hidrato níquel metálico (NiMH): Tipo de bateria recarregável que oferece maior densidade de energia do que uma bateria recarregável NiCad. Veja também ***bateria.***

bateria de zincocarbono: Bateria de baixa qualidade e não recarregável. Veja também ***bateria.***

bobina variável: Bobina de fio circulando em um pedaço móvel de metal. Ao girar o pedaço de metal você muda a indultância da bobina.

corrente alternada (AC): Corrente caracterizada por uma mudança na direção do fluxo de elétrons. Veja também corrente direta (DC).

cabo: Grupo de dois ou mais fios protegidos por uma camada externa de isolante.

capacitância: Capacidade de armazenar energia em um campo elétrico, medida em farads. Veja também capacitor.

capacitor: Componente que fornece a propriedade de capacitância (a capacidade de armazenar energia em um campo elétrico) a um circuito. Veja também capacitância.

cátodo: Terminal de um dispositivo do qual a corrente convencional (carga hipoteticamente positiva) flui. Em dispositivos consumidores de potência, tais como diodos, o cátodo é o terminal negativo. Em dispositivos fornecedores de potência, tais como baterias, o ânodo é o terminal positivo. Veja também ânodo.

circuito: O caminho completo que permite que a corrente flua.

circuito fechado: Circuito sem interrupção que permite que a corrente flua. Veja também ***circuito aberto.***

circuito aberto : Tipo de circuito no qual o fio ou um componente é desconectado prevenindo a corrente de fluir. Veja também ***circuito fechado.***

comutador: Dispositivo utilizado para mudar a direção da corrente elétrica em um motor ou gerador.

componente: Parte utilizada em projetos de eletrônica, como uma bateria ou um transistor.

condutor: Substância através da qual a corrente elétrica pode fluir livremente.

conector: Recipiente de metal ou plástico de um equipamento (a tomada de telefone na sua parede, por exemplo) em que é inserida a extremidade de um cabo.

continuidade: Tipo de teste que você realiza com um multímetro, para estabelecer se um circuito está intacto entre dois pontos.

corrente convencional: Fluxo de hipotéticas cargas positivas, da voltagem positiva para a negativa, o reverso da corrente real. Veja também corrente real.

corrente: Fluxo de partículas eletricamente carregadas. Veja também ampere, I.

ciclo: Trecho de uma porção de onda que se repete. Por exemplo, a porção da forma de onda, onde a voltagem vai do ponto mais baixo ao mais alto e de volta é um ciclo.

corrente contínua (DC): Tipo de corrente na qual os elétrons movem-se somente em uma direção, tal como a corrente elétrica gerada por uma bateria.

corrente elétrica: Veja ***corrente.***

cabeça chata: Termo utilizado para descrever tanto o parafuso de cabeça chata, quanto a chave de fenda que você usa com ele.

CI: Veja ***circuito integrado (CI).***

circuito integrado (CI): Também conhecido como chip; é um componente que contém diversos outros componentes miniaturizados, tais como resistores, transistores e diodos, conectados em um circuito que realiza uma função específica.

circuito vivo: Circuito ao qual foi aplicada voltagem.

circuito aberto: Tipo de circuito no qual o fio ou um componente é desconectado prevenindo a corrente de fluir. Veja também circuito fechado.

constante de tempo RC: Cálculo do produto da resistência e capacitância, que define a quantidade de tempo para carregar um capacitor até 2/3 de sua voltagem máxima ou para descarregá-lo até 1/3 de sua voltagem máxima.

corrente real: Fluxo de elétrons de uma voltagem negativa até uma positiva. Veja também ***corrente convencional.***

circuito em série: Circuito no qual a corrente flui por cada componente, em sequência.

curto-circuito: Termo utilizado para descrever a conexão acidental entre dois fios ou componentes, permitindo que a corrente passe através deles ao invés de passar pelo circuito desejado.

célula solar: Tipo de semicondutor que gera uma corrente quando exposta à luz.

capacitância parasita: Termo utilizado para descrever a energia

capacitor variável: Capacitor cujo armazenamento pode ser dinamicamente alterado, de forma mecânica ou elétrica. Veja também ***capacitância, capacitor.***

diodo: Componente eletrônico semicondutor que consiste de uma junção PN, que permite que a corrente elétrica flua em uma direção mais facilmente do que na outra. Os diodos são utilizados comumente para converter corrente alternada em corrente contínua, limitando o fluxo da corrente numa direção.

DPDT: Veja ***interruptor polo duplo , throw duplo (DPDT)***

DPST: Veja ***interruptor polo duplo, throw único (DPST)***

dissipador de calor: Pedaço de metal que você afixa de maneira segura ao componente que você quer proteger. O dissipador retira calor e ajuda a impedir que este destrua o componente.

divisor de voltagem: Circuito que utiliza quedas, para produzir voltagem menor do que a voltagem de alimentação, em um ponto específico no circuito.

eletricidade: O movimento de elétrons em um condutor.

esquema: Desenho que mostra como os componentes em um circuito estão conectados.

eletroímã: Ímã temporário consistindo de um fio enrolado ao redor de um pedaço de metal (normalmente uma barra de ferro). Quando você passa corrente através do fio, o metal torna-se magnetizado. Quando corta a corrente, o metal perde sua qualidade magnética.

elétron: Partícula subatômica negativamente carregada. Veja também ***próton.***

ESD (descarga eletrostática): Veja ***eletricidade estática.***

eletricidade estática: uma forma de corrente que permanece presa a um corpo isolante, mesmo após você remover a fonte de energia. O relâmpago é uma forma de eletricidade estática.

eletricidade estática: Uma forma de corrente que permanece presa e um corpo isolante, mesmo após você remover a fonte de energia. O relâmpago é uma forma de eletricidade estática.

efeitobpiezoelétrico: Capacidade de certos cristais — quartzo e topázio são exemplos — de expandir ou contrair quando você aplica voltagem a eles.

força eletromotriz: Força atrativa entre cargas positivas e negativas, medida em voltz.

flux: Substância parecida com cera que ajuda a solda fundida a fluir ao redor dos componentes e fios e assegurar uma boa junta.

frequência: Medida em ciclos por segundo, ou hertz (Hz), que informa quão frequentemente um sinal AC se repete. O símbolo para frequência é f. Veja também hertz.

ferro de soldar: Uma ferramenta em forma de bastão que consiste de um cabo isolante, um elemento aquecedor e uma ponta de metal polido, usada para aplicar a solda.

fio sólido: Fio que consiste em apenas um filamento.

fio stranded: Três ou quatro pequenos conjuntos de fios muitos finos, cada um envolto em isolante.

fillet: Área levantada formada pela solda.

forma de onda: Padrao de flutuação de voltagem ou corrente, que você usa em eletrônica para conduzir corrente elétrica.

fio: Fio longo de metal, usualmente feito de cobre, que você utiliza em projetos de eletrônica para conduzir corrente elétrica.

ganho: Quantidade em que o sinal é amplificado (a voltagem do sinal que sai dividida pela voltagem do sinal que entra).

gauge: Veja ***gauge do fio***.

gauge do fio: Sistema de medida do diâmetro de um fio.

gerador de varredura: Tipo de gerador de função que produz um sinal com uma frequência que, continuamente, varia (varre) dentro de uma faixa ao redor de uma frequência central especificada.

garra terceira mão: Também chamada garra mão auxiliar; é uma pequena garra com peso, que segura as partes, enquanto você solda.

garra mão auxiliar: Algumas vezes chamada garra terceira mão; são clips ajustáveis que seguram pequenas partes enquanto você está trabalhando em projetos.

hertz (Hz): Medida do número de ciclos por segundo em uma corrente alternada. Veja também ***frequência.***

interruptor polo duplo, throw duplo (DPDT): Tipo de interruptor que tem dois fios na entrada e quatro fios na saída.

interruptor polo duplo, throw único (DPST): Tipo de interruptor que tem dois fios na entrada e dois fios na saída.

interruptor de polo duplo: Tipo de interruptor que tem dois fios na entrada.

I: Símbolo para corrente convencional, medida em amperes. Veja também ***ampere, corrente.***

impedância: Medida da oposição em um circuito elétrico ao fluxo de corrente alternada.

indutância: Capacidade de armazenar energia em um campo magnético (medida em henry). Veja também ***indutor.***

indutor: Componente que fornece a propriedade da indutância (capacidade de armazenar energia em um campo magnético) para um circuito. Veja também ***indutância.***

isolante: Substância através da qual a corrente elétrica não consegue fluir livremente.

inversor: Também conhecido como porta NOT; é uma porta lógica de uma entrada que inverte o sinal. Uma entrada baixa produz uma saída alta, e uma entrada alta produz uma saída baixa. Veja também porta lógica.

interruptor de polo único, throw duplo (SPDT): Tipo de interruptor que possui um fio entrando e dois saindo.

interruptor de polo único: Tipo de interruptor que possui um fio de entrada.

interruptor deslizante: Tipo de interruptor em que você desliza para frente ou para trás para ligar ou desligar algo (tal como uma lanterna).

junta fria de solda: Junta defeituosa que ocorre quando a solda flui de forma correta ao redor das partes de metal.

joule: Unidade de energia.

junção PN: Ponto de contato entre um semicondutor tipo P, tal como silício contaminado com boro, e um semicondutor tipo N, como silício contaminado com fósforo. A junção pn é a fundação para diodos e transistores bipolares. Veja também **transistor bipolar, diodo**.

Largura de banda: Relativa a um osciloscópio, é o sinal de maior frequência que você pode testar com confiança, medida em megahertz (MHZ)

Lei de Ohm: Equação que define a relação entre voltagem, corrente e resistência em um circuito elétrico.

lápis de soldar: Ver ***ferro de soldar.***

microcontrolador: Circuito digital programável.

multímetro: Equipamento de teste para eletrônica, utilizado para medir fatores como voltagem, amperagem e resistência.

malha dessoldadora: Dispositivo utilizado para remover soldas difíceis de alcançar. A malha dessoldadora é uma trança plana de cobre que funciona porque o cobre absorve solda mais facilmente do que o fino revestimento da maioria dos componentes e placas de circuito impresso.

ohm: Unidade de resistência; seu símbolo é Ω. Veja também R, resistência.

oscilador: Circuito que gera um sinal eletrônico repetido. Veja também ***onda senoidal, onda quadrada***.

osciloscópio: Equipamento eletrônico que mede voltagem, frequência e vários outros parâmetros para formas de ondas variadas.

onda senoidal: Sinal oscilatório contínuo definido pela função matemática seno. Veja também ***osciladores.***

onda quadrada: Sinal repetitivo que alterna instantaneamente entre dois diferentes níveis.

protoboard: Também conhecida como placa de prototipação ou protoboard sem solda; é uma placa plástica retangular (disponível em uma variedade de tamanhos) que contém grupos de buracos que são conectados por pequenas tiras de metal. Você pluga componentes – resistores, capacitores, diodos, transistores e circuitos integrados, por exemplo – e depois coloca fios para construir um circuito. Veja também ***protoboard para solda.***

polarização: Aplicar uma pequena quantidade de voltagem a um diodo ou à base de um transistor para estabelecer o desejado ponto de operação.

posição fechada: Posição de um interruptor que permite que a corrente flua. Veja também ***posição aberta.***

posição aberta: Posição de um interruptor que previne a corrente de fluir. Veja também ***posição fechada.***

porta lógica: Circuito digital que aceita valores de entrada e determina qual saída produzir, baseado em um conjunto de regras.

pad: Ponto de contato em uma protoboard, utilizado para conectar componentes.

potenciômetro: Resistor variável que permite o ajuste contínuo da resistência de virtualmente zero ohm até o valor máximo.

phillips: Termo usado para se referir tanto ao parafuso de fenda em cruz (+) quanto à ferramenta utilizada com ele (chave philips).

potência: Medida em watts da quantidade de trabalho que a corrente elétrica faz ao percorrer um componente elétrico.

pulso: Sinal que alterna rapidamente entre alto e baixo.

protoboard para solda: Matriz na qual você solda os componentes de um circuito. Veja também ***protoboard.***

protoboard sem solda: Ver ***protoboard.***

pico: Veja pico de voltagem.

pico de voltagem: Aumento momentâneo na voltagem.

próton: partícula subatômica carregada positivamente. Veja também ***elétron.***

queda de voltagem: Queda resultante na voltagem quando esta puxa elétrons através de um resistor (ou outro componente), e este absorve alguma energia elétrica.

relé: Dispositivo que age como um interruptor, abrindo ou fechando um circuito, dependendo da voltagem aplicada a ele.

resistência: Medida em ohms da oposição de um componente ao fluxo de corrente elétrica. Veja também ***ohm, R.***

revestimento: Camada extremamente fina de cobre que você cola em uma base de epoxy, plástico ou fenol para fazer uma placa de circuito impresso.

resistor: Componente com uma quantidade fixa de resistência que você pode adicionar a um circuito para restringir o fluxo de corrente. Veja também ***resistência.***

resistor de precisão: Tipo de resistor com baixa tolerância (o desvio permisível em relação ao seu valor nominal). Veja também ***valor nominal, tolerância.***

removedor de rosin flux: Detergente utilizado após a soldagem para limpar o que restou do flux , evitando assim que ele oxide o circuito. Disponível em garrafas ou *sprays*.

resistor variável: Veja ***potenciômetro.***

R: Símbolo para resistência. Veja também ***ohm, resistência.***

soquete: Tipo de conector. Veja também ***conector.***

sinal alto: Em eletrônica digital, é um sinal de um valor um pouco maior do que zero (0) volt.

sinal baixo: Em eletrônica digital, um sinal em ou perto de zero (0) volt.

semicondutor tipo-P: Semicondutor contaminado com impurezas de forma a ter menos elétrons livres do que um semicondutor puro.

semicondutor tipo N: Semicondutor contaminado com impurezas de forma que ele tenha mais elétrons livres do que um semicondutor puro.

semicondutor: Material, como silício, que possui algumas propriedades, tanto de condutor quanto de isolante.

sensor semicondutor de temperatura: Tipo de sensor que mede a temperatura eletricamente.

sensor: Componente eletrônico que percebe uma condição ou um efeito, como luz ou calor, e converte isso em um sinal elétrico.

sugador de solda: Também conhecido como bomba dessoldadora; ferramenta que consiste de um aspirador por mola, utilizado para remover solda em excesso.

sensor de temperatura infravermelho: Tipo de sensor que mede a temperatura eletricamente.

SPDT: Veja **interruptor polo único, throw duplo (SPDT).**

solda: Composto de metal que é aquecido e aplicado a dois fios metálicos ou terminais e deixado exfriar, formando uma junta conditiva. Veja também 6***0/40 rosin core, soldagem***.

soldagem: Método que você utiliza em seus projetos de eletrônica para montar componentes em uma placa, na construção de um circuito elétrico permanente; em vez de usar cola para fixar os componentes, você usa uma pequena bolha de metal fundido, ou solda,. Veja também ***solda.***

strain relief: Dispositivo que é posto ao redor de um fio e previne que você arranque o fio do encapsulamento.

terra na terra: Conexão elétrica direta com o solo. Veja também ***terra.***

terra: Conexão feita em um circuito, usada como referência (zero volt) para o circuito. Veja também ***terra na terra.***

terra flutuante: Termo utilizado para descrever o terra de um circuito que não está conectado à terra.

termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC): Resistor cuja resistência aumenta com a temperatura. Veja também ***resistor, termistor.***

termistor de coeficiente positivo de temperatura (PTC): Dispositivo cuja resistência aumenta com um aumento na temperatura. Veja também resistência, termistor.

terminal: Pedaço de metal no qual você coloca fios (tal como o terminal da bateria).

termistor: Resistor cujo valor de resistência varia com mudanças na temperatura.

termopar: Tipo de sensor que mede temperatura eletricamente.

têmpera (tinning): Processo de aquecer uma ferramenta de solda até sua temperatura máxima a aplicar uma pequena quantidade de solda na ponta para prevenir que esta grude na ponta.

tolerância: Variação permitida ao valor nominal de um componente, devido ao processo de manufatura; é expressado em porcentagem. Veja também ***valor nominal.***

traço: Fio em uma placa de circuito que fica entre os discos, para conectar eletricamente os componentes.

transistor: Dispositivo semicondutor que comumente é utilizado como interruptor ou para amplificar sinais elétricos.

Transistor bipolar: Tipo comum de transistor que consiste de duas junções PN fundidas. Veja também ***transistor***.

valor nominal: Valor declarado de um resistor ou outro componente. O valor real pode variar para cima ou para baixo do valor nominal, baseado na tolerância do dispositivo. Veja também tolerância.

V: Símbolo para voltagem, também comumente representado por E. Veja também ***voltagem.***

voltagem: Força atrativa entre cargas positivas e negativas.

watt hora: Unidade de medida de energia; a habilidade de um dispositivo ou circuito de realizar trabalho.

wire wrapping: Método para conectar componentes em placas de circuito, utilizando fios.

60/40 rosin core: Solda contendo 60% de latão e 40% de chumbo (a razão exata pode variar uns poucos pontos percentuais) com o núcleo de rosin flux. Esse tipo de solda é ideal para trabalhar com eletrônica. Veja também ***solda, soldagem.***

Índice

A

ação de transformador 107
ação de transistor 133
acoplamento capacitivo 71
acurácia 289
Afie as pontas dos pregos 347
Alcalinas 175
alta impedância 285
Alto-falantes 36
ampere 13
amperes-hora 34
Amplificador 36
amplificador de emissor comum 137
amplificador diferencial 157
amplificador inversor 157
amplificador operacional 157
Amplificando corrente 321
amplitude 288
amplitude da forma 296
Analisando um circuito em série 306
anel decodificador 19
ânodo 23
Anote a leitura de corrente 311
Antena 36
A Parte dos 10 5
Aplicando polarização ao diodo 117
Apoio de solda 196
Área seccional 40
associação mista 34
Atraso de Varredura 289
autoindutância 95
axial 74

B

banho de epóxi 74
bateria de lítio 379
Bateria morta 333
Benjamin Franklin 14
biblioteca de modelos 360
bit 146
bitola do fio 171
blindados 100
boas vibrações 18
bobina de indução 91
Bomba estilo de bulbo 251
Bomba estilo de êmbolo de mola 251
botão do dimmer 17
Bulbo de néon 334
bungee cords 195
buracos de contato 205
bus 254
bússola dinsmore 342
Bússola eletrônica 340

Cabeças de fitas magnéticas 185
Calculadora 304
campo magnético 92
canais 293
Canalizando a Energia Elétrica 14
Capacitância 72
capacitância parasita 247
Capacitância variável 78
capacitor de acoplamento 71
capacitores 17
capacitores de cerâmica 73

capacitores de suavização 71
Capacitores em paralelo 79
Capacitores em série 80
cápsulas de montagem superficial dos capacitores 74
Carregando e Descarregando Capacitores 67
catálogo da Allied 364
cátodo 23
célula 24
célula solar 224
chave phillips 200
Chegando na Lei de Ohm 308
chip CMOS 324
chips de circuito integrado 2
ciclo 377
circuito aberto 16
circuito ativo 32
Circuito conectado errado 333
circuito desenergizado 262
circuito de sintonia 105
circuito detector de morcegos 356
circuito em série 33
circuito meio somador 150
circuito ressonante 105
circuito RL 101
circuitos AC 27
circuitos de temporização 73
circuitos integrados 141
Círculo com polaridade 225
Círculo contendo forma de onda 225
CIs analógicos 145
CIs de sinal misto 145
CIs digitais 145
Clipes para fios 204
clocking mark 154
código Morse 36
Cola Cianoacrilato 203
Colocando a Teoria em Prática 5
comércio na internet 2
Como a sirene funciona 340
componentes eletrônicos 17
Componentes passivos 32
Comprimento 40
Conexões em paralelo 33
Conexões em série 33
constantes de tempo RC 86
Construindo Circuitos Com Protoboards Sem Solda 243
Construindo um simples circuito em série 306
contador de frequência 299
Contando os Megahertz 355
Contra vigilância 337
Controlando as luzes 349
Controlando o tempo do pulso 330
controle remoto 337
Corrente alternada 22
Corrente contínua 22
corrente convencional 27
corrente DC 69
corrente de pico 25
corrente de pulso 124
corrente de vazamento 70
corrente direta 117
corrente instantânea 25
Cortando voltagens 319
coulomb 13
Criando Luzes Bacanas 328
Criando um timer 86
cristais de quartzo 106
CRT 18
curto-circuito 96

Dando um empurrãozinho nos elétrons 13
DC offset 136
densidades dos chips 144

depuração de equipamento 357
Descarga eletrostática 127
despolarizado 118
Detector 36
diagramas de bloco 37
dielétrico 66
diferença de potencial 13
Digi-Key 364
diminuição da resistência geral 51
Dinsmore 1490 342
diodos retificadores 121
diodos são cilíndricos 116
diodo Zener 115
direção de referência 27
Direcionamento de corrente 125
disparo único 162
dispositivos não lineares 117
Dissecando seu rádio 296
dissipador de calor 49
distribuidor de estoque 364
divisor de tensão 58
divisor de voltagem 42
dopagem 113
dopantes 113
dopantes doadores 114
dopantes receptores 114
dreno 127
dual inline packages 153

eBay 361
efeito piezoelétrico 106
eixo do potenciômetro 309
eletroímã 93
eletromagnetismo 92
eletrônica de consumo 9
elétrons de valência 112
emissões de luz 18
encapsulamentos de capacitores 74
Energia elétrica 11
energia hidroelétrica 24
energia secundária 24
energizar o testador 347
Entendendo os Fundamentos
da Eletrônica 4
Entrada de controle de voltagem 159
Entrada de gatilho 159
Entrada de Threshold 159
entrada inversora 157
Epoxy 203
Espectro de Frequência 187
Esponja umedecida 197
esquema 27
estourar 31
Experimentando a eletricidade 14

faixa máxima 266
faixas de frequência 90
famílias lógicas 164
farads 72
fatia de tempo 293
Ferramenta para wire-wrap 255
ferramentas de análise 360
Ferramentas de captura de circuito 360
ferromodelismo 2
ferros de solda 3
filamento da lâmpada 15
filtragem de precisão 73
Filtro passa-alto 88
Filtro passa-baixo 88
filtros eletrônicos 71
filtros passafaixa 105
fio de cobre 22
Fio para wire-wrap 255
fios jumper 208
fio sólido 170
fio stranded 170

Fita bimetálica 185
Fita de pulso antiestática 204
fluxo dos elétrons 21
fluxo magnético 92
folha de dados 149
fonte 127
fonte de alimentação linear 122
fonte de eletricidade 22
fonte de energia variável 354
Fontes de alimentação ininterrupta 70
Forma de onda AC 286
Forma de onda DC 286
Forma de onda de pulso 286
Forma de onda digital 286
formato digital 36
fotodiodo 138
fototransistor 140
frequência 25
frequência de corte 89
frequência ressonante 104
frequência rudimentar 355
Furadeira elétrica 204
Fusível 262

• G •

ganchos de junção 195
garra de terra 298
garras jacaré 334
gauge 378
Georg Ohm 55
Gerador De Efeitos Luminosos 348
gerador de funções 297
gerador de tom 340
gerador de varredura 357
Graxa sintética 203

• H •

henrys 95
hertz 25
Hidrato níquel-metálico 176
Hi-Z 285

ID de referência 229
ímã 24
impedância 103
indução eletromagnética 24, 94
indutância 95
indutores 17
indutor ideal 97
Interruptores 262
interruptor SPST 336
iPod 1

• J •

Joseph Henry 95
joysticks 43
junção basecoletor 129
junção base-emissor 129
junção PN 115
junta fria de solda 376
Juntas de solda 262

know-how em eletrônica 2

lâminas 257
lâmpadas fluorescentes compactas 298
Largura de banda 288
largura de banda do osciloscópio 288
LCD 37

Leaf 179
LED 41
LEDs em círculo de forma 350
LEDs em forma de coração 350
LEDs em linha 350
LEDs infravermelho 123
LEDs visíveis 123
Lei da Voltagem de Kirchoff 29
Lei de Joule 63
Lei de Murphy 252
Lei de Ohm 35
ligação covalente 112
Ligando um LED 317
linha de força 223
linhas de fluxo 92
Listando com a carga dos elétrons 11
Lítio 175
lógica digital 147
lógica transistor-transistor 164

• M •

magnetismo 24
malha dessoldadora 251
marca de clock 332
matriz de contatos 205
máxima potência possível 63
Medindo a indutância 95
mega-ohms 41
Michael Faraday 14
Microcontroladores 166
microfarad 72
microfone condensador 183
microfone de cristal 183
microfone de fibra óptica 183
microfone dinâmico 183
Microfones 18
microhenrys 95
miliamperes 13
milihenrys 95
Mobilizando elétrons 21
Mobilizando elétrons em condutores 12
modulação por largura de pulso 190
MOSFETs 127
Mostrador digital 266
movimento em massa dos elétrons 12
mudança de voltagem 69
multímetro 47
multiplexação 166
Multivibrador astável 159
Multivibrador biestável 163
Multivibrador monoestável 162

• N •

Níquel-cádmio 176
núcleo 11
núcleo de resina 197
número binário 146

• O •

observando o LED 318
O cérebro 349
O corpo 349
Óculos de segurança 204
ohmímetro 262
ohms 41
ômega 41
ondas senoidais 25
oscilador 160
osciladores 106
osciloscópio 192
over range 266

painel solar 177
par Darlington 137
Pastilha Analógica 145

Pequeno Amplificador 345
persistência de visão 298
Personalidade Variável 354
picofarad 72
Piezo 334
piezo disco 334
Piezoeletricidade 334
pinagem do CI 154
Pino de descarga 159
Pino de saída 159
pinos 148
piscador 555 329
piscador de LED 331
Pistola de cola quente 203
Placa perfurada 255
placas de circuito impresso 74
placas de metal 22
placas de prototipação 240
polaridade do capacitor 75
polarização direta 117
polarização inversa 117
Pontas de amarração 255
ponto de solda 247
Por Que Comprar Este Livro? 1
Por Que Eletrônica? 2
porta 127
Porta AND 148
Porta NAND 148
Porta NOR 148
Porta NOT 148
Porta OR 148
portas universais 149
Porta XNOR 148
Porta XOR 148
Posicionando os LEDs 349
pot 273
potência = corrente x voltagem 52
potência nominal 122
potenciômetro 43
Potenciômetros deslizantes 47
Potenciômetros multivoltas 47
Potenciômetros rotativos 47
Presilhas 204
Pressupostos Tolos 3
primeira banda 45
propriedade retificadora 116
prótons 11
proxy bidding 361
pulsador lógico 357
pulsante 282
Pushbutton 179

quarks 11
Queda De Tensão 317
quilo-ohms 41

radial 74
raios catódicos 18
Random Access Memory 147
reação eletroquímica 22
reatância capacitiva 81
reatância indutiva 98
Reconhecendo o poder dos elétrons 9
referência de terra 29
relação entre dois sinais 290
relação linear 117
Relé 180
Removendo a solda 251
reostato 43
Reservatórios de Energia Elétrica 66
Resistência 39
resistência constante 59
resistência equivalente 49
resistividade 40
resistores 17
Resistores de alta precisão 43

Resistores de precisão padrão 43
Resistores em série 50
resistor fixo 43
resistor variável 43
resist pattern 257
retificação 112
Retificação de meia onda 121
Retificação de onda completa 122
Rocker 179
RoHS 367
ruído 99

• S •

segunda banda 45
Segurança em Primeiro Lugar 3
Segurança é primordial 3
semicondutores 32
semicondutor tipo N 114
semicondutor tipo P 114
senoidal 25
Sensores eletrônicos 18
Serra manual 204
simulador de circuitos 359
sinal de rádio 19
sinal de saída 37
sinal elétrico 36
sinal elétrico analógico 36
Sintonizador 36
Sintonizar 71
Sirene 338
sirene 555 339
sistema de alarme 2
sistema radiorreceptor 35
Slide 179
Solda 196
solda em segurança 252
Soldagem 247
solenóides 95
soma da resistência fixa 315
soquetes 153
SPICE 359
strain relief 213
Suavizar a voltagem 71
subida de voltagem 29
Sujando as Mãos 5
supercondutores 40

• T •

tabela-verdade 150
tecnologia de montagem superficial 74
Temperatura 40
tempo de varredura 287
tempo é tudo 84
tensão de breakdown 115
tensão de polarização 117
tensão de retorno 95
tensão de ruptura 122
tensão inversa de pico 118
tensão reversa de pico 118
terceira banda 45
terminais axiais 74
terminal 22
termistor 40
terra comum 30
terra de chassis 226
terra de sinal 226
terra flutuante 30
Testador de Água 346
Testando capacitores 274
Testando fios e cabos 276
Testando fusíveis 278
Testando interruptores 277
Testando potenciômetros 273
Testando transistores 275
Thomas Edison 14
Tirando proveito da energia elétrica 15
Toggle 179
tolerância do resistor 43

Totalmente descarregado 85
transdutor 181
transdutores ultrassônicos 356
transformador elevador 109
transformadores 91
transformadores de isolamento 108
transformador rebaixador 109
transistor Darlington 137
Transistor desligado 134
transistores 17
Transistores de junção bipolar 126
Transistores NPN 127
Transistores PNP 127
Transistor parcialmente ligado 134
Transistor totalmente ligado 134
trilha de resistência 46
trilha de terra no seu circuito 75
trimpots 47
tubo antiestático 127
TV de plasma 1

• U •

Enxergando a corrente elétrica 9
Uma lei, três equações 55
universo 11
UPSs 70

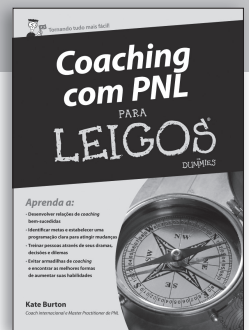
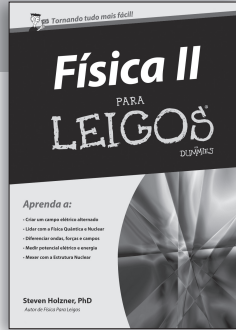
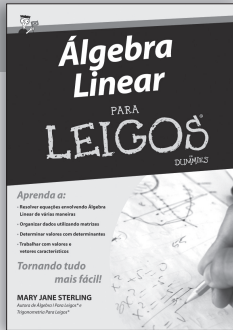
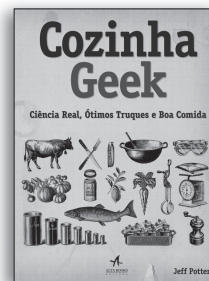
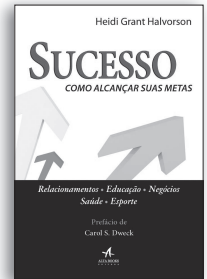
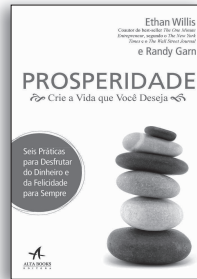
• V •

valores dos capacitores 76
Valores errados dos componentes 333
valor nominal 44
varactores 78
varicaps 78
varredor 46
Velocidade 190
voltagem 13
voltagem DC 69
Voltagem de operação 190
voltagem de trabalho 73
voltagem Zener 320
voltímetro 30
volts 13

• W •

wiper 306
wire-wrapping 171

• Z •

zigue-zague no diagrama 34
Zinco-carbono 175

Tecnologia/Eletrônica
Tradução da 2ª Edição

A eletrônica é fascinante – quer fazer algo com ela? Este livro mostra como!

Você pode fazer tudo o que for baseado em eletrônica, após entender o que ela é e saber como funciona. Este livro ajudará você nessa parte, explicando todo o assunto em uma linguagem simples. Aprenda como a eletricidade funciona, como canalizá-la e colocá-la para trabalhar, quais são as ferramentas de que você precisa para construir circuitos, o que você pode fazer com elas e como fazer isso de modo seguro.

- ***Mistério resolvido*** *– entenda o que faz funcionar seu iPod, seu controle-remoto e seu computador.*
- ***Material essencial*** *– equipe sua oficina de eletrônica com todas as ferramentas necessárias, incluindo algumas surpresas.*
- ***Esquemas mapeados*** *– aprenda a ler esquemas e entender como eles ajudam seu projeto a chegar aonde você quer.*
- ***Símbolos de energia*** *– reconheça todos os identificadores, incluindo fontes de energia, fios terra e componentes.*
- ***Ferramentas do ofício*** *– descubra como usar um multímetro, uma sonda lógica, um osciloscópio e uma matriz de contatos (protoboard).*
- ***Bote para quebrar*** *– conheça os detalhes internos e externos de componentes como resistores, capacitores, diodos e transistores, entre outros.*
- ***Juntando tudo*** *– descubra como circuitos integrados fazem todos os serviços e aprenda a trabalhar com eles.*
- ***Analise*** *– entenda as regras que governam corrente e voltagem e aprenda como aplicá-las.*

Abra este livro e descubra:

- A diferença entre eletrônica e eletricidade
- Uma lista de ferramentas essenciais
- Projetos legais que você pode construir rapidamente
- Ótimos lugares para encontrar componentes
- O que é uma onda senoidal
- Coisas interessantes sobre alto-falantes, campainhas e motores DC
- A Lei de Ohm e como utilizá-la

Acesse o site www.paraleigos.com.br para outros livros da série!

Cathleen Shamieh é autora de livros sobre alta tecnologia com larga experiência em engenharia e consultoria nos campos de eletrônica médica e processamento da fala e telecomunicações. **Gordon McComb** escreve a coluna Robotics Resource para a *SERVO Magazine*, a principal revista sobre o hobby da eletrônica nos Estados Unidos.

ISBN 978-85-7608-446-4